

**ANÁLISIS NORMATIVO DE LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS  
DISTRIBUIDOS EN MICRORREDES EN COLOMBIA**

**LUIS FERNANDO DURANGO GIRALDO  
ANDRÉS CAMILO AREIZA LOPERA**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y  
DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
ITUANGO  
2025**

**ANÁLISIS NORMATIVO DE LA INTEGRACIÓN DE RECURSOS ENERGÉTICOS  
DISTRIBUIDOS EN MICRORREDES EN COLOMBIA**

**LUIS FERNANDO DURANGO GIRALDO**

**ANDRÉS CAMILO AREIZA LOPERA**

**Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Supervisión de sistemas de  
generación y distribución de energía**

**Asesor técnico**

**Jauder Alexander Ocampo Toro**

**Doctor en Ingeniería**

**Asesor metodológico**

**Eros David Escobar Cárdenas**

**Magister en Ingeniería**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**TECNOLOGÍA EN SUPERVISIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN Y**

**DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

**ITUANGO**

**2025**

## Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
1. Planteamiento del problema.....	7
1.1 Descripción.....	7
1.2 Formulación del problema.....	10
2. Justificación.....	12
3. Objetivos.....	15
3.1 Objetivo General .....	15
3.2 Objetivos Específicos .....	15
4. Marco Teórico.....	16
4.1 Redes eléctricas .....	22
4.2 Microrredes.....	24
4.3 Organismos de regulación del sector eléctrico en Colombia y en el mundo.....	26
4.4 Situación de las microrredes en Colombia .....	31
5. Metodología .....	40
5.1 Tipo de Proyecto.....	40
5.2 Método .....	40
5.3. Población y muestra .....	41
5.4. Instrumentos de recolección de información.....	41
5.4.1 Fuentes primarias .....	41
5.4.2 Fuentes secundarias .....	41
5.5 Descripción de la metodología .....	41
6. Resultados .....	44
6.1 Introducción a la regulación normativa de microrredes .....	44
6.2 Estado del arte de la implementación de microrredes en el mundo .....	49

6.3 Normativa en los distintos países y continentes .....	50
6.4. Propuesta de recomendaciones teóricas para el caso colombiano (CREG) .....	66
6.4.1 Artículo 1. (Propuesta).....	70
6.4.2 Artículo 2. (Adaptado de la Cláusula 6 de la norma IEEE 1547-2018 y de las Resoluciones CREG 097 de 2008, 161 y 179 de 2008, 056, 057 de 2009 y 072 de 2013)...	71
Referencias bibliográficas .....	73

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Demanda de energía eléctrica actual y a futuro.....	8
<b>Figura 2.</b> Consumo final de energéticos en el país entre 2010 y 2023 .....	8
<b>Figura 3.</b> Arquitectura de una microrred, y seguidamente, los tipos de microrred.....	17
<b>Figura 4.</b> Emisión de energía en microrredes. ....	20
<b>Figura 5.</b> Tendencia del consumo de electricidad desde 1990 a 2024.....	23
<b>Figura 6.</b> Proyecto Energética 2030.....	33
<b>Figura 7.</b> Distribución de microrredes en el territorio nacional.....	34
<b>Figura 8.</b> Proyección de Japón para el 2030 .....	35
<b>Figura 9.</b> Distribución de microrredes de Estados Unidos.....	35
<b>Figura 10.</b> zonas no interconectadas (ZNI).....	46

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Tipos de microrredes.....	18
<b>Tabla 2.</b> Tipo de red según su rango de potencia.....	19
<b>Tabla 3.</b> Tipo de microrred según el suministro de energía.....	19
<b>Tabla 4.</b> Población sin acceso a la electricidad a nivel mundial.....	23
<b>Tabla 5.</b> Diferencia entre redes eléctricas tradicionales y microrredes.....	26
<b>Tabla 6.</b> Organismos reguladores del sector eléctrico en Europa.....	27
<b>Tabla 7.</b> Cinco microrredes con sus características.....	36
<b>Tabla 8.</b> Avances en algunos países en cuanto a microrredes.....	37
<b>Tabla 9.</b> Metodología a partir de los objetivos.....	42
<b>Tabla 10.</b> Prospección del uso de microrredes entre el 2025 y el 2037.....	51
<b>Tabla 11.</b> Matriz de registro bibliográfico.....	52

## 1. Planteamiento del problema

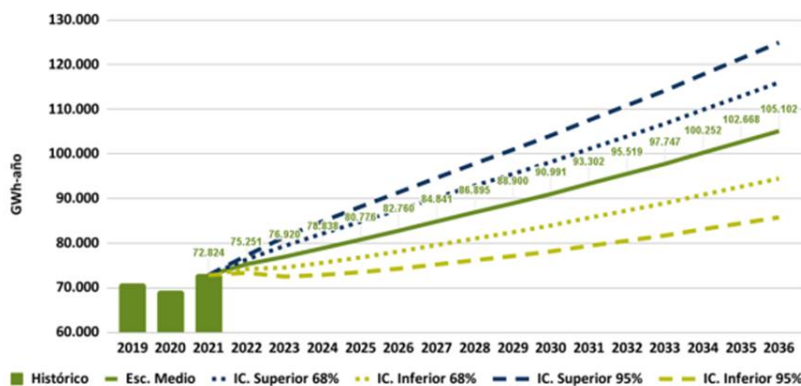
### 1.1 Descripción

A lo largo del territorio colombiano, existen contextos, en los que, acceder a la electricidad, sigue siendo una lucha diaria, debido a que, aunque se han hecho esfuerzos por extender la red, todavía hay zonas rurales y apartadas donde simplemente no llega el servicio eléctrico, a causa de las características geográficas, de distancia y de costos, que hacen que las soluciones tradicionales no sean viables. IRENA (2020) señala que, en ese panorama, las microrredes aparecen como una alternativa concreta, ya que permiten generar y distribuir energía de forma local, con tecnologías limpias y adaptables a las necesidades de cada comunidad, pero, para el desarrollo de dicha implementación, no existe una serie de normativas que faciliten su funcionamiento en el país (p. 8).

En ese sentido, es válido mencionar que a lo largo y ancho del territorio colombiano el acceso a la energía eléctrica se ha ido expandiendo, pero aún queda mucho territorio por cubrir. UPME (2022) señala que en cuanto a la energía eléctrica en Colombia se presentó un crecimiento anual del 5,24%, que contrasta con la contracción que se dio en el 2020 y que fue del 2%; esto quizás responde a la recuperación del mercado no regulado que fue el más impactado negativamente durante la pandemia con un -6,42%. (p.4); ello habla no solo de expansión de redes eléctricas y zonas interconectadas, sino de la demanda del servicio, el cual muchas veces, es obtenido mediante tomas ilegales y peligrosas por parte de la ciudadanía.

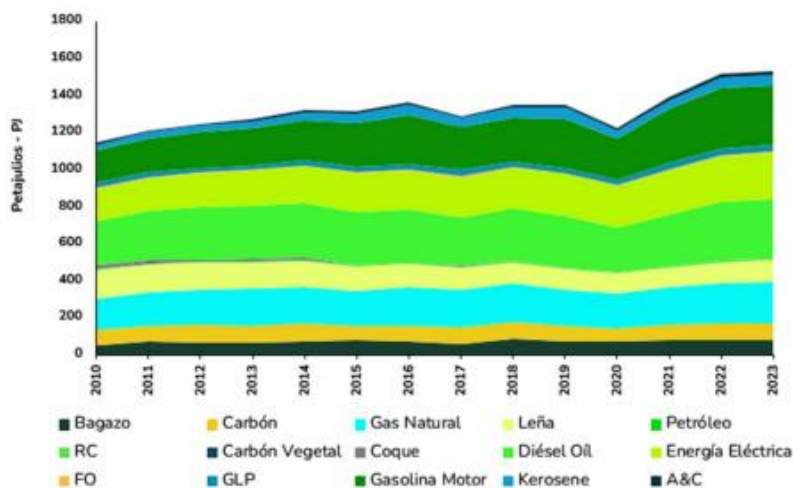
La Figura 1 muestra un posible crecimiento, proyectado al 2036, entre un 2,22 y un 3,33 %, lo que legitima la necesidad de instaurar en el país las microrredes como alternativa sostenible a la debilidad del sistema eléctrico nacional en su capacidad instalada, invocando en nombre de ello, un marco normativo concreto, sólido y de comprensión y seguimiento funcional, para que se incentive la inversión pública y privada en este tipo de proyectos. El auge de la electrificación en el país también es representado por UPME (2025), en la Figura 2.

**Figura 1.** Demanda de energía eléctrica actual y a futuro



*Nota.* La figura anterior expone la demanda de energía eléctrica en la actualidad y una proyección de la demanda futura. Tomada de UPME (2022, p. 51). Proyección anual de demanda energía eléctrica (GWh-año) – sin GCE

**Figura 2.** Consumo final de energéticos en el país entre 2010 y 2023



*Nota.* El gráfico muestra el consumo final de energéticos en el país entre 2010 y 2023, Tomado de UPME (2025, p. 9) Plan Energético Nacional 2024-2054.

La Figura 2 representa el consumo final de energéticos en el país entre 2010 y 2023, colocando a la energía eléctrica en un alto grado de consumo en los últimos años, lo que evidencia que se ha ido incrementando su accesibilidad, y no se puede negar, que ello es gracias a las mejoras e inversión en el sistema eléctrico, pero es innegable que aun el estado colombiano tiene una deuda histórica con muchas regiones en cuanto al acceso y disfrute del servicio eléctrico. En ese sentido, la problemática palpable en esta investigación cobra relevancia, ya que

no se le ha dado a la regulación de las microrredes la importancia que tiene, y se han permitido vacíos que merman el interés y la inversión en este tipo de energías alternativas

Según el IPSE (Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas) (2022), citado en Garzón (2023), en cuanto al sistema eléctrico en Colombia, el Sistema Interconectado Nacional (SIN), cubre el 47% del territorio nacional y el 53% restante son Zonas No Interconectadas (ZNI), que tienen energía gracias a plantas diésel o algunas fuentes de energía renovables (p. 8). Estos datos evidencian que más de la mitad del territorio nacional no está conectado al sistema eléctrico, lo que sugiere la imperiosa necesidad de buscar alternativas para superar esta falencia, y es allí donde las microrredes se presentan como la solución ideal, si se anclan a las normas regulatorias adecuadas.

Para Granit (2023) en Colombia, la normatividad avanza, pero de manera fragmentada, enfocándose más en la generación distribuida conectada a la red principal que en las microrredes como sistemas independientes o híbridos; esto genera vacíos que complican su diseño, operación y legalización, porque, aunque existen marcos como el RETIE y algunas resoluciones de la CREG, no se han actualizado o especializado lo suficiente para abordar los desafíos particulares que implican las microrredes (p. 7). Por ejemplo, si un proyecto en la Amazonía quiere instalar una microrred solar con baterías, es muy probable que se encuentre con trabas técnicas y jurídicas por falta de regulación específica.

El problema radica en conjugar la normativa internacional, que está mucho más adelantada que la que existe hasta el momento en Colombia, con lo que se ha establecido a nivel nacional; de acuerdo con Garzón (2023), se puede presentar una línea de tiempo de las regulaciones que se han promulgado en el país comenzando por la Ley 1715 de 2014, la Ley 2099 de 2021, y la Resolución número 000283 de 2021, las cuales establecen el uso de energías no convencionales, y la gestión eficiente de la energía, así como la implementación de microrredes para llevar energía eléctrica a aquellas poblaciones que no puedan conectarse al sistema central.(p.24).

La dificultad en este sentido estriba en que no hay un impulso contundente para crear las leyes necesarias y abocarse a la implementación de microrredes con todo el esfuerzo necesario; puede pensarse en falta de voluntad política, gestión deficiente desde el nivel central y regional, desinformación y/o desconocimiento entre otros. Se trata entonces de integrar la regulación

colombiana con la regulación internacional, aprovechando la experiencia y el conocimiento establecido en dichas normas por parte de otros países.

Caicedo (2024), expone que Colombia debe aprender de los países con trayectoria en el uso de esta alternativa para el sistema eléctrico, aprendiendo de los aciertos y errores, pero contextualizando la implementación de microrredes a la realidad colombiana (p. 21). De igual manera, Acosta (2024), citado en Caicedo (2024), dice que hay que implicar la transición energética con el territorio, pues no es lo mismo hacerlo en zonas que dependen de la minería, que hacerlo en territorios que dependen de otros rubros (p. 21).

A nivel internacional, existen normas bien estructuradas como la IEEE 1547, que establece condiciones técnicas para la conexión de recursos distribuidos, o la IEC 61850, centrada en protocolos de comunicación en sistemas eléctricos. De acuerdo con Sharma y Singh (2023) estas han sido aplicadas con éxito en países como Estados Unidos, Alemania o India, donde las microrredes son parte clave del sistema energético. Sin embargo, Colombia no ha adoptado oficialmente estas referencias ni ha construido una normativa propia con base en ellas, lo que genera incertidumbre en los desarrolladores y operadores (p. 23); lo anterior deja al descubierto una escasa vocación de resolución del problema de no conexión al sistema eléctrico en muchos lugares y a la integración de las regulaciones nacionales con las normas internacionales.

La necesidad es evidente y urgente. Según Zabala (2023) citado en Becerra et al. (2022) más de 733 millones de personas a nivel mundial no tienen acceso confiable a la electricidad, muchas de ellas en condiciones similares a las que se viven en regiones como Chocó, Vaupés o La Guajira (p. 35). Mientras el mundo avanza hacia modelos energéticos más limpios y descentralizados, Colombia sigue sin definir las reglas para que eso sea posible. Esta falta de alineación entre la urgencia social y el marco normativo hace que las microrredes, que podrían ser una solución efectiva, se queden estancadas o sean vistas como experimentos difíciles de replicar.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo armonizar las normas técnicas internacionales con la regulación nacional existente para facilitar la integración de recursos energéticos distribuidos en microrredes, en el contexto colombiano actual y futuro?

El problema que se presenta es la poca sintonía que existe entre la normativa internacional y la normativa nacional que buscan regular los recursos energéticos distribuidos en microrredes; considerando el avance que han tenido otros países en esta materia, los resultados satisfactorios alcanzados y la integración de las propias comunidades en la implementación y control de este tipo de alternativas, es necesario mirar con atención las normas y protocolos seguidos por estas naciones para fortalecer la incipiente regulación colombiana, que está más presente en el papel que en la realidad de cambio estructural que exige el sistema eléctrico nacional.

## 2. Justificación

En Colombia, todavía existen muchas comunidades que viven sin acceso estable a la energía eléctrica, evidenciando un problema de infraestructura, como también de las desigualdades que siguen marcando las diferencias entre las áreas rurales y urbanizadas, entre lo conectado y lo olvidado. Bajo este contexto, IRENA (2020) señala que las microrredes no son simplemente una tecnología moderna, son una oportunidad real para que esas poblaciones puedan tener energía limpia, constante y adaptada a sus necesidades; pero dicha posibilidad se ve frenada por una realidad silenciosa, no hay una normativa clara que regule su implementación, siendo la razón, por la que investigar este tema no solo es útil, es urgente (p. 4).

Más allá del componente social, este trabajo tiene un valor tecnológico clave, debido a que hoy en día, existen normas internacionales como la IEEE 1547 o la IEC 61850 que establecen cómo deberían funcionar las microrredes, pero en Colombia esas referencias no están incorporadas formalmente al marco legal; esto crea un vacío que no solo genera dudas entre quienes quieren desarrollar proyectos, sino que además retrasa decisiones y bloquea soluciones que ya están listas para aplicarse. Para Obando (2021) si otros países han podido adaptar estas normas a su realidad, discutir sobre la implementación de dichas tecnologías, es necesario para hacer más eficiente la prestación del servicio eléctrico en zonas rurales, razones por las que, el estudio de la normativa internacional y nacional corresponde al pilar fundamental de este trabajo (p. 23).

En Colombia hay normas ya establecidas que son fundacionales, pero deben ser ampliadas, contextualizadas y nutridas en la regulación internacional; entre esta normativa se encuentran la Ley 1715 de 2014, la Ley 2099 de 2021 y recientemente, el Decreto 2236 de 2023 que, de acuerdo a Función Pública (s.f), “reglamenta parcialmente el artículo 235 de la Ley 2294 de 2023 del Plan Nacional de Desarrollo 2022 - 2026 en lo relacionado con las Comunidades Energéticas en el marco de la Transición Energética Justa en Colombia”, y también, el Proyecto de resolución no. 701 050 de 2024(06 jun.2024), que según la página web CREG (2024), somete a consideración de los prestadores del servicio eléctrico en zonas no interconectadas, el cargo por la prestación del servicio.

La elaboración de un marco regulatorio nacional, en armonía con las normas internacionales sobre la gestión de microrredes, traerá desarrollo y bienestar social a Colombia; el vivir bien, como un derecho de la población, tiene que ver con el pleno acceso a los servicios básicos, entre los que se encuentra la electricidad, pero en el país, por diversas razones de distinta índole, este servicio no cubre a todos los ciudadanos. Por ello, la realización de este estudio es un exhorto a juntar voces desde distintos contextos para que el marco normativo de microrredes en Colombia se fortalezca, se contextualice, se vincule a las normas internacionales y se difunda, de manera que todos los actores sociales, políticos y económicos remen hacia el mismo puerto: el pleno acceso de los colombianos y colombianas al servicio eléctrico con fuentes renovables de energía.

Además, la temática de estudio tiene influencia en la calidad de vida de miles de personas, a causa de que la falta de energía no significa solo vivir a oscuras, sino también implica cosas tan simples como no poder refrigerar alimentos, no tener acceso a internet, no poder bombear agua, no estudiar en la noche, no cargar un celular. Según Becerra et al (2022), más de 500 mil colombianos viven en zonas donde la red eléctrica no llega, y muchas de esas comunidades podrían ser atendidas por microrredes si existiera una guía técnica que permitiera desarrollarlas con seguridad y respaldo legal (p. 5).

Desde lo teórico, el proyecto se convierte en una herramienta de análisis que permite conectar lo que ya está escrito en el mundo con lo que necesitamos construir desde Colombia. Para Zabala (2023) no se trata de copiar normas extranjeras, sino de entenderlas, adaptarlas y proponer desde la realidad del país una hoja de ruta posible. Eso también es hacer ciencia: leer el contexto, identificar lo que falta y plantear alternativas concretas desde el conocimiento (p. 12).

Por eso, revisar estas normas desde una perspectiva comparativa y teórica no solo es necesario, sino estratégico. Según Terreros y Garcés (2023) citados en Zabala (2023) se debe abrir el camino para que más comunidades puedan acceder a la energía sin depender de un sistema central que muchas veces no llega. Y en ese sentido, analizar cómo se pueden adaptar normas internacionales al contexto colombiano puede convertirse en una base fundamental para transformar la política energética en zonas no interconectadas (p. 45)

Por último, se destaca el componente ambiental, donde si Colombia quiere cumplir sus compromisos frente al cambio climático, debe dejar de depender de combustibles fósiles, sobre todo en regiones apartadas donde todavía se usan plantas diésel. Las microrredes, alimentadas

por fuentes como el sol o el viento, no solo reducen emisiones, también cuidan los ecosistemas, pero para que eso ocurra, necesitamos normativas que las reconozcan, las regulen y las promuevan.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Analizar las normas técnicas internacionales y nacionales aplicables a la integración de recursos energéticos distribuidos en microrredes en Colombia, a través de una revisión teórica comparada, para la propuesta de lineamientos normativos que faciliten su implementación en el país.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las principales normas técnicas internacionales, que regulan la integración de recursos energéticos distribuidos en sistemas de microrredes, revisando su estructura, alcance y aplicabilidad en el contexto de países en desarrollo.
- Comparar los enfoques normativos internacionales y colombianos a través de un análisis documental, determinando los vacíos normativos que existen en la legislación colombiana respecto a las microrredes.
- Proponer recomendaciones teóricas orientadas a la adaptación de normativas al caso colombiano, que permitan una integración segura, clara y eficiente de recursos energéticos distribuidos en microrredes.

#### 4. Marco Teórico

El servicio de energía eléctrica debe ser entendido como un bien común, que permite mejorar la vida de las personas, por lo que su planeación y distribución debe ser una prioridad para todos los gobiernos, e incluso, para organismos internacionales que promueven acciones en pro de un mundo más equitativo. En el contexto colombiano actual, es necesario pensar en cómo extender la cobertura del servicio energético a ciertos lugares remotos del territorio, dónde las torres eléctricas no pueden ser utilizadas por las características que poseen ciertas zonas del país.

En ese sentido, hay regiones donde no basta con extender la red eléctrica, porque las condiciones geográficas, económicas o sociales lo hacen inviable; en esos espacios, las microrredes se han convertido en una alternativa concreta, no una opción tecnológica futurista, sino una solución real para comunidades que han estado siempre al margen.

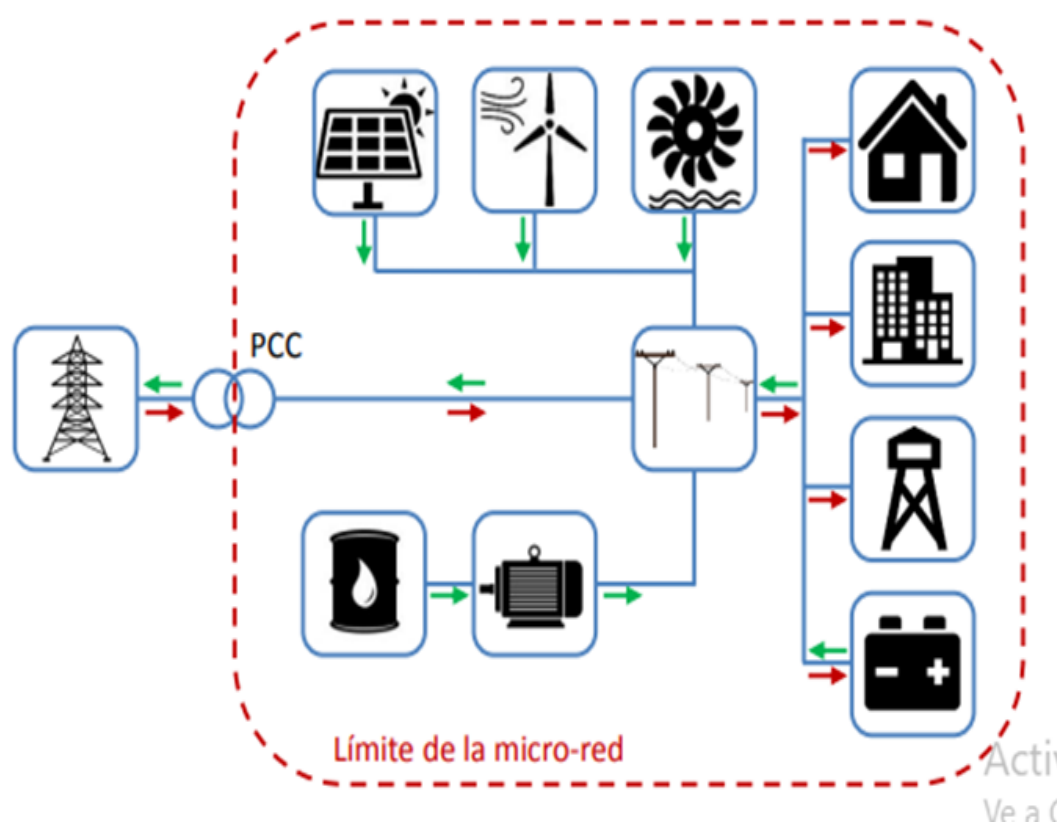
García (2021) dice que es el momento de analizar la gestión y optimización energética de microrredes en aquellos territorios de la zona no interconectada empleando los recursos de energía renovable y no renovable que hay en ellos (p.11). Resulta imperativo conectar con la sostenibilidad, y también con la necesidad de muchas regiones rurales de Colombia cuyas condiciones geográficas han impedido que el sistema eléctrico interconectado llegue; por ello, la idea no es solo reconocer el problema sino activar soluciones.

Barrales (2016) define las microrredes como una red de distribución aislable, en isla que puede ser gestionada de manera controlada y observada, siendo capaz de proveer de energía a comunidades pequeñas, considerando que el tamaño promedio de una microrred es menor de 50 MW. Además, las micro-redes no están planificadas ni gestionadas de forma centralizada. (p. 12).

La Figura 3 muestra la arquitectura de una microrred, a modo de conceptualizar de forma gráfica lo que es una microrred; se muestra la composición de esta, contemplando la distintas fuentes de generación, en aras de propiciar la innovación al momento de implementar microrredes utilizando distintas formas de energía sostenible; se ubica el Punto de Acoplamiento Común que representa la distancia entre la red principal y la microrred, y las flechas representan el flujo de energía entre los distintos componentes.

Un diagrama simple es presentado en la Figura 3, para mostrar gráficamente el concepto de microrred. En este ejemplo, el sistema se compone de distintas fuentes de generación (renovables), un medio de respaldo a través de un generador diésel, un sistema de almacenamiento mediante baterías y cargas de distintas características, algunas de ellas con la posibilidad de ser programables. El flujo de energía entre los distintos componentes es representado por flechas que indican su dirección y la separación física entre la micro-red y la red principal se denomina Punto de Acoplamiento Común (PCC por sus siglas en inglés).

**Figura 3.** *Arquitectura de una microrred, y seguidamente, los tipos de microrred*



*Nota.* Se muestra la Arquitectura de una microrred. Tomado de Morales (2019, p.7), planificación de micro-redes para comunidades rurales con caracterización de incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica

Se presenta a continuación la Tabla 1, que contempla los tipos de microrredes, con la finalidad de caracterizar cada una de ellas, dejando evidencia de que el contexto y las necesidades son los referentes esenciales para establecer el sistema de microrred que se implementará.

**Tabla 1.** *Tipos de microrredes*

<b>Micro-redes verdaderas (<math>\mu</math>grids)</b>	Generalmente los proyectos de microrredes son de este tipo, son auto gestionadas y tienen un punto de acoplamiento común. Tienen una normativa menor que otros proyectos de este tipo; ejemplo de estas microrredes es el proyecto The Sendai Microrred Project, desarrollado por <i>New Energy and Industrial Technology Development Organization</i> (NEDO) en Japón entre el 2005 y 2008 y que sigue vigente en la actualidad.
<b>Micro-redes de servicio público / comunitario o mili-redes (mgrids)</b>	Implican un segmento de la red de distribución, incorporan infraestructura de servicios públicos tradicionales, y tienen una normativa mucho más exigente que las $\mu$ grids. Como ejemplo se encuentra la micro-red de San Diego Gas and Electric Company's (SDG&E) que cuenta con 2800 clientes de Borrego Spring, California, donde los activos de distribución son propiedad de la empresa de servicios públicos, y los DERs son propiedad de los clientes.
<b>Micro-redes virtuales (vgrids)</b>	Sistemas que cubren DERs en diferentes sitios pero que se conjugan como una sola entidad controlada; hay pocos sistemas en esta categoría.
<b>Sistemas de energía remota (rgrids)</b>	No funcionan conectados a la red, y el ejemplo más notorio es el proyecto desarrollado por la Universidad de Chile para abastecer a la comunidad andina de Huatacando, que tiene 150 habitantes que se inmiscuyen en la gestión y mantenimiento del sistema.

*Nota.* Tomado de Morales (2019, p. 7). planificación de micro-redes para comunidades rurales con caracterización de incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica

Además de la clasificación presentada en la tabla anterior, las microrredes pueden definirse según el tipo de voltaje y corriente que emplean y su respectiva potencia; en ese sentido, Ojeda (2022) presenta la clasificación de la Tabla 2, donde se muestran las redes según la potencia que tengan caracterizando cada una de ellas, incluyendo la fuente de energía sostenible que pudieran emplear. (p.2).

**Tabla 2.** Tipo de red según su rango de potencia

Potencia del Sistema	Denominación	Generación	Características
Hasta 0,5 Kw	Sistemas autónomos individuales	Fotovoltaica	Distribución en CC o CC+CA en vivienda
0,5 hasta 10 Kw	Sistemas autónomos individuales	Fotovoltaica	Normalmente distribución en CA en vivienda
10 hasta 100 Kw	Sistemas centralizados- MICRORREDES	Fotovoltaica - Grupo Aerogenerador	Distribución en CA a grupo de consumidores. Generación centralizada
100kW en adelante	MINIRREDES	Las anteriores más otras fuentes energéticas	Distribución en CA a grupo de consumidores. Generación descentralizada

*Nota.* Tomado de Ojeda (2022). Revisión de contenido teórico sobre microrredes y estudios previos acerca de su implementación como suministro de energía en Colombia (octubre de 2022)

Así mismo, las microrredes pueden clasificarse según el suministro de energía, ya sean de corriente alterna (CA), de corriente continua (CC), o híbridas; Hossain et al (2019), expone las definiciones para cada una de ellas según la Tabla 3.

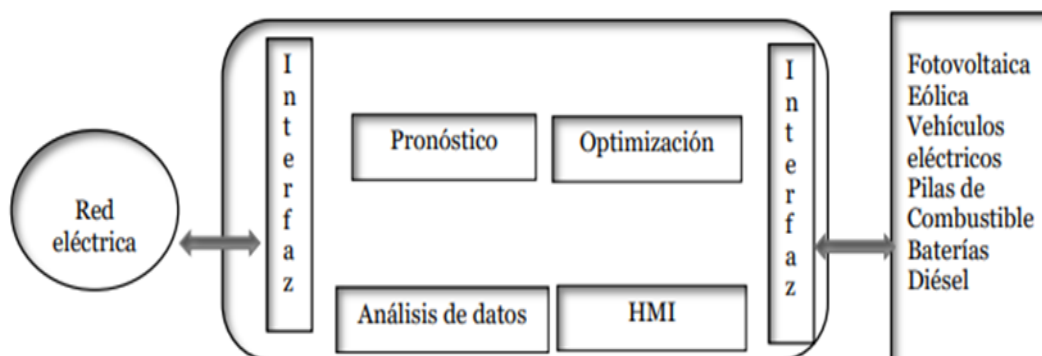
**Tabla 3.** Tipo de microrred según el suministro de energía

Tipo de microrred	Definición
Microrredes de CA	Suministran energía de CA a una red de distribución, no requiere convertidores ni requisitos complejos para conectarse a la red eléctrica.
Microrredes CC	Son más eficaces y tienen un proceso de conversión más lento, son más eficaces contra los cortocircuitos; se han desarrollado a partir de las fuentes de CC amigables con el medio ambiente.
Microrredes híbridas	Son redes que emplean la CA y la CC para la distribución eléctrica; las microrredes híbridas permiten reducir los costos de energía, elevar la confiabilidad, mejorar la eficiencia entre otros.

*Nota.* Elaboración propia. Datos tomados de Hossain et al (2019). Evolución de las microrredes con generaciones interconectadas con convertidores: desafíos y oportunidades.

Por su parte, García (2021), presenta la emisión de energía en microrredes según se muestra en la Figura 4.

**Figura 4.** Emisión de energía en microrredes.



*Nota.* Tomado de García. (2021, p. 5). Gestión de microrredes eléctricas basadas en fuentes renovables en Colombia

En ese orden de ideas, las microrredes se presentan como una solución a la ubicación geográfica de muchas zonas, pero también, como una opción amigable con el medio ambiente empleando energías renovables, alineadas con las voces que promueven la sostenibilidad y el cuidado del planeta; las fuentes de energía que usan las microrredes pueden ser renovables como el aire, fototérmica, fotovoltaica o biomasa, así como no renovables como es el caso del diésel.

IEA (2023) define una microrred, en términos simples, como un sistema eléctrico que puede funcionar tanto conectado a la red principal como de forma independiente, siendo valioso debido a que combina diferentes fuentes de generación, muchas veces renovables, y permite distribuir energía localmente, adaptándose al territorio y sus necesidades; ello presenta una opción para llevar energía a lugares donde nunca ha llegado, o llega de forma deficiente en distintos lugares del mundo, acercando a la población a una vida con mayores opciones y mejor calidad, brindando la posibilidad de diseñar soluciones descentralizadas, sostenibles y ajustadas a esas realidades.

Hablar de microrredes conlleva hablar de las redes eléctricas, para poder comprender la importancia de ambas y la necesidad de pasar de lo macro (las redes), a lo micro (las microrredes); Bravo y Solano (2022), dicen que las redes eléctricas son las que llevan la

electricidad a los consumidores finales obteniendo la energía eléctrica de las estaciones de media y alta tensión (p. 1.531). Todo esto conlleva un proceso, donde los últimos consumidores reciben electricidad transformada de media a baja tensión.

En un país como Colombia, con tantas regiones de difícil acceso donde no se han podido colocar torres de conexión eléctrica, pero que requieren de este servicio para mejorar la cotidianidad de los habitantes, es pertinente considerar los beneficios de las microrredes; en consonancia con lo anterior, Barrales (2016) expone algunas bondades de las microrredes, diciendo que elevan la eficiencia energética, reducen el costo energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> reduciendo el impacto ambiental de los combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica entre otros. (p.2).

A nivel global, las líneas de distribución de voltajes varían de acuerdo con diversos factores, por ello, de acuerdo con Conejo et al (2007) citado en Bravo y Solano (2022):

Las líneas de distribución primarias trabajen como circuitos de “voltaje medio”, que normalmente se consideran de 600 V a 40 kV. Por lo que, en una subestación de distribución, un transformador de subestación toma la transmisión entrante nivel de voltaje (35 a 230 kV) y lo reduce a varias distribuciones en los circuitos primarios, que se abren en abanico desde la subestación. (p. 1531)

En el caso particular de Colombia, la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG (2012), establece los niveles de tensión de la siguiente manera de acuerdo con la Tensión Nominal de Operación:

“Nivel 4: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 57,5 kV y menor a 220 kV.

Nivel 3: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 57,5 kV.

Nivel 2: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV.

Nivel 1: Sistemas con tensión nominal menor a 1 kV.”

De acuerdo con lo anterior se establecen modalidades de distinto voltaje de acuerdo con las necesidades de los usuarios; estas variaciones dependen de cada nación y sus necesidades, así como la inversión en este sector. En Colombia, se aducen las mismas razones para la diferenciación entre las necesidades de los hogares, las empresas, industrias entre otros.

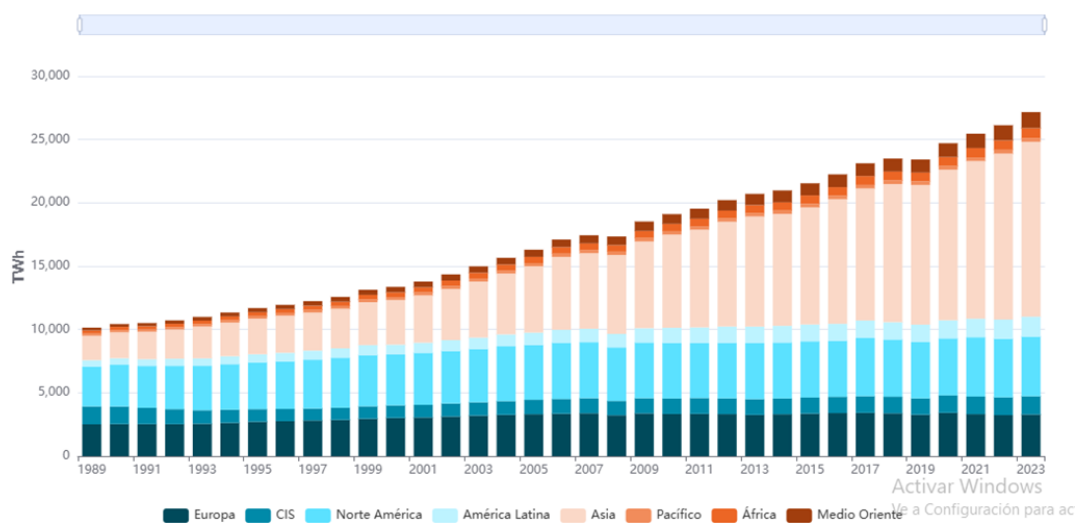
## 4.1 Redes eléctricas

Las redes eléctricas y el acceso a esta energía establecen una relación entre el vivir bien y la pobreza energética, la cual según Franco y Villalobos (2024), es la posibilidad de acceso y uso de la energía en los hogares (p. 263); ello varía entre países desarrollados y países emergentes o en vías de desarrollo o no desarrollados, estableciendo una diferencia entre pobreza por carencia de combustibles y pobreza energética.

Esto otorga relevancia a la robustez del sistema eléctrico de una nación, lo que se traduce en mantenimiento preventivo y correctivo adecuado y oportuno, así como la expansión y de la red eléctrica y la implementación de soluciones alternativas como las microrredes, para llevar energía eléctrica todos los rincones del país. Por ello, la energía eléctrica, el acceso a ella y su calidad se vincula a la justicia social, ya que brinda oportunidades, no solo de encender un foco, sino encender una luz en la vida de las personas.

Un dato importante sobre pobreza energética lo brinda Guzowski et al. (2021), cuando dice que un 17% de la población mundial, unos 1300 millones de personas no tienen acceso a la electricidad, y un 36%, o sea unos 2700 millones de individuos, cocinan a expensas del uso de biomasa, lo que debería convertirse en un exhorto a organismos y entes competentes para proveer electricidad a la población mediante alternativas como las microrredes, las cuales van de la mano con los objetivos de Desarrollo Sostenible en el marco de la Agenda 2030.

Enerdata (2025) ofrece datos interesantes sobre el consumo de energía eléctrica a nivel mundial, diciendo que en 2024 se aceleró en más del 4% el consumo global de electricidad; este aumento en la demanda fue liderado por China, y países como Brasil y Rusia también aumentaron su consumo; Canadá, México, Australia y Estados Unidos, también elevaron su demanda de electricidad. Esta misma fuente también presenta una gráfica que representa el consumo de energía a nivel global (Ver Figura 5).

**Figura 5. Tendencia del consumo de electricidad desde 1990 a 2024**

*Nota.* Tomado de Enerdata. 2025. Consumo nacional de electricidad.

De igual manera, para mirar el panorama del acceso a la energía eléctrica de manera global, Isaac (2024), presenta la Tabla 4.

**Tabla 4. Población sin acceso a la electricidad a nivel mundial.**

	Porcentaje de población con acceso a electricidad en el mundo			Porcentaje de población sin acceso a la electricidad en el mundo		
	2020	Urbano	Rural	2020	Urbano	Rural
Mundo	90 %	97 %	82 %	10 %	3 %	18 %
África	56 %	83 %	36 %	44 %	17 %	64 %
Asia en desarrollo	97 %	99 %	95 %	3 %	1 %	5 %
América Central y del Sur	97 %	99 %	86 %	3 %	1 %	14 %
Medio Oriente	92 %	98 %	77 %	8 %	2 %	23 %

*Nota.* Tomado de Isaac (2024, p. 399). Microrredes y transición energética. Hacia los ecosistemas energéticos escalables.

En Colombia, esto cobra un valor especial, según Álvarez et al (2023) más de 500 mil personas viven en zonas no interconectadas, es decir, lugares donde la red nacional no llega y donde la única forma de tener luz muchas veces es a través de motores diésel o velas (Álvarez y

otros, 2023). Siendo así, hablar de microrredes como una solución viable, requiere del concierto de voluntades de todos los actores sociales y políticos, atendiendo temas como presupuesto, capacitación del personal para la instalación, seguimiento y control, así como los diferentes aspectos de ingeniería que sean pertinentes.

## **4.2 Microrredes**

De acuerdo con García (2021), las microrredes buscan minimizar los costos operativos de la microrred, elevar las potencias de salida de los generadores, incidir positivamente en el medio ambiente y optimizar los sistemas de almacenamiento de energía (p.17), lo que confiere relevancia a este estudio en aras de invitar a establecer la normativa necesaria que incentive el uso de esta forma alternativa para generar energía, llevando a rincones intrincados de la geografía colombiana, la energía eléctrica necesaria para aportar opciones de mejora en todos los sentidos a la población, configurando una identidad nacional apegada a los derechos fundamentales de la población.

Las bondades de las microrredes no solo tienen que ver con el pleno acceso a la energía de las familias que viven en regiones que, por diversas razones, no disfrutan de este servicio, sino con la sostenibilidad, que es una premisa actual a nivel global; además las microrredes permiten que las comunidades participen más en la generación de esta energía, lo que promueve sentido de pertenencia y cuidado. Las microrredes fortalecen el buen vivir en todas las dimensiones: educación, salud, alimentación entre otros.

Las microrredes están conformadas por elementos básicos que se detallan a continuación:

- Cargas: generalmente son eléctricas, y pueden ser controladas o no; también pueden usarse nuevas tecnologías renovables para abastecer cargas térmicas.
- Elementos de la generación distribuida: pueden ser renovables o no, se refiere a generadores con un tamaño menor a 50 MW que brindan energía a la red y a la instalación donde se encuentran.
- Elementos de almacenamiento de energía eléctrica: al momento de elegir las baterías deben considerarse los ciclos de carga y descarga; es importante considerar también el carácter intermitente de algunas tecnologías de la generación distribuida.

- *Combined Heat and Power (CHP)*: las microrredes pueden producir electricidad y calor de manera combinada usando instalaciones termo solares, pilas de combustible o microturbinas.
- Tecnologías de control: las microrredes más sofisticadas pueden aislarse de la red a través de interruptores automatizados con un hardware de voltaje y potencia reactiva y un software para la predicción de utilización de activos; esa configuración hace que estos elementos tengan una producción limitada por el elevado coste que tienen. (Barrales 2016, p. 16).

En ese orden de ideas, la tecnología que hace parte de las microrredes, aunque pueda parecer compleja, no está fuera de nuestro planeta, sino al alcance de quienes desean actualizarse y definir un rumbo para la energía más equitativa y beneficioso para el medio ambiente; de allí que debe fortalecerse la implementación incipiente que de este tipo de energía existe en Colombia, y trabajos de investigación como este, dan pie para que se comente el tema, se multiplique la información, y se haga una invitación general a analizar las posibilidades de esta energía alternativa en el país.

En la Tabla 5 se presentan las redes eléctricas tradicionales y las microrredes, las cuales comparten algunos elementos estructurales y funcionales, aunque también diferencias importantes. Más allá de las ventajas en términos de sostenibilidad ambiental, que las microrredes ofrecen estas se distinguen por contar con mayores capacidades de gestión, autonomía operativa y eficiencia energética, aspectos que las diferencian de las redes eléctricas convencionales.

**Tabla 5.** *Diferencia entre redes eléctricas tradicionales y microrredes*

<b>Estructura</b>	Las redes eléctricas principales tienen una fuente centralizada de generación de energía respaldada por una gran infraestructura para distribuir energía en vastas áreas, mientras que las microrredes reciben la energía de diferentes fuentes que se almacena en baterías y se controla localmente.
<b>Colaboración</b>	Los sistemas de energía Tradicionales presentan debilidades frente a cortes de energía, fallas en los equipos y desastres naturales; las microrredes también son vulnerables a estos eventos, pero en menos escala.
<b>Eficiencia</b>	La microrred se gestiona dentro de un sistema más pequeño y, por lo tanto, puede reaccionar con mayor rapidez y eficiencia ante interrupciones de energía, problemas de generación y cambios en la demanda, mientras que los sistemas de energía tradicionales tardan más en reponerse.
<b>Energía renovable</b>	Los sistemas energéticos tradicionales dependen de fuentes no nucleares o combustibles fósiles, mientras que las microrredes dependen de fuentes de energía renovables.
<b>Flexibilidad</b>	La energía tradicional está diseñada para cubrir grandes zonas, y la microrred se diseña para zonas en particular.
<b>Control local</b>	Las redes de energía tradicional son centralizadas por lo que las comunidades tienen poca participación en su producción; las microrredes otorgan a las comunidades y empresas participar en la generación de energía, lo que les brinda cierta independencia.

*Nota.* Tomado de Deutz (2025).

### **4.3 Organismos de regulación del sector eléctrico en Colombia y en el mundo.**

A nivel mundial existen entidades u organismos que regulan el sector eléctrico, cada uno contextualizado en el país donde se encuentra, pero que tiene normas que pueden ser emuladas por otros países; de acuerdo a eso, podría decirse que no hay un marco riguroso establecido, sino leyes y normas, en desarrollo podría decirse, alineadas con la sostenibilidad y el cuidado del

planeta que inciden en la producción y demanda de la energía eléctrica; sin embargo, pueden mencionarse algunos organismos y lo que hacen, tanto a nivel mundial como en Colombia.

ARIAE (s.f), presenta los organismos reguladores del sector eléctrico en Europa en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Organismos reguladores del sector eléctrico en Europa

<b>País</b>	<b>Organismos con competencias reguladoras</b>	<b>Observaciones</b>
<b>Alemania</b>	Ministerios competentes en energía a un nivel federal	Único Estado miembro que no ha creado un regulador energético específico
<b>Austria</b>	Ministerio Economía y Trabajo y Comisión de Control de Electricidad (Electricity-Control Commission – (EEC))	Regulador con plena independencia de actuación del Ministerio
<b>Bélgica</b>	Ministerio Asuntos Económicos/ Comisión para la Regulación de la electricidad y del Gas (CREG) – regulador federal-/3 autoridades reguladoras regionales (para Flandes, Valonia y Bruselas)	CREG independiente del Ministerio
<b>Dinamarca</b>	Ministerio Medioambiente y Energía/ El Consejo Supervisor Energético (The Energy Supervisory Board – (ESB))	Aplica una regulación ex –post Independiente del Ministerio
<b>España</b>	Ministerio Economía/ Comisión Nacional de Energía	Independiente del Ministerio
<b>Finlandia</b>	Ministerio Comercio e Industria/ Autoridad del Mercado Energético	Aplica una regulación ex –post Independiente del Ministerio
<b>Francia</b>	Ministerio Economía y Finanzas/ Secretaría de Estado de Energía/ Comisión para la Regulación de la Energía (CRE), que según la Ley del 3 de enero de 2003, sustituye a la Comisión para la Regulación de la Electricidad	Independiente del Ministerio
<b>Grecia</b>	Ministerio de Desarrollo/Autoridad Reguladora para la Energía (RAE)	Independiente del Ministerio
<b>Italia</b>	Ministerio de Industria/Autoridad para la Energía Eléctrica y el Gas (AEEG)	Independiente del Ministerio
<b>Luxemburgo</b>	Ministerio de Energía/Instituto Luxemburgués de Regulación (Institut Luxembourgeois de Régulation (ILR))	
<b>Países Bajos</b>	Ministerio Asuntos Económicos/DTE – Dienst Toezicht en Uitvoering Energie (regulador)	Dependiente de la Autoridad de Competencia y Ministerio
<b>Portugal</b>	Gobierno- Dirección General de Industria/ Entidad Reguladora de los Servicios Energéticos (ERSE)	Independiente del Ministerio
<b>Reino Unido</b>	Departamento de Comercio e Industria/ Oficina de los Mercados de Gas y Electricidad (The Office of Gas and Electricity Markets (OFGEM))/ Consejo de Consumidores de Gas y Electricidad	Independiente del Ministerio
<b>República de Irlanda</b>	Ministerio de Empresa Pública/Comisión para la Regulación Energética (CER)	Independiente del Ministerio
<b>Suecia</b>	Administración Energética Nacional (The National Energy Administration (NEA))	Independiente del Ministerio

*Nota.* Tomado de ARIAE (s.f), Los organismos reguladores internacionales en el sector energético. (p.7)

En el caso particular de España, Benítez (s.f). señala que algunos de los organismos reguladores en el país son:

- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, que regula y legisla administrativamente el sector eléctrico y las entidades que hacen vida en él, y establece las distintas tarifas de este mercado.
- Red eléctrica de España, que opera el sistema eléctrico nacional desde la gestión pormenorizada.
- Mercado mayorista o POOL (OMIE), es el mercado en el que las empresas generadoras ofrecen su electricidad mediante la oferta, presentando diferentes precios en función del tiempo y el tipo de generación de energía, y las empresas comercializadoras generan las órdenes de compra de acuerdo con la demanda, esto según las necesidades de sus clientes.
- Comisión Nacional de Energía (CNE), es un organismo independiente que vela por la transparencia y efectividad en la competencia de los mercados energéticos.

Estados Unidos, tiene diversos organismos que regulan y vigilan el sector eléctrico; ARIAE (s.f), menciona que algunas de estas entidades son:

- *The Federal Energy Regulatory Commission (FERC)* (Comisión Federal Reguladora de Energía), la cual regula el comercio y transporte del gas natural, el transporte de productos petrolíferos y el transporte y venta de electricidad al por mayor.
- *The U.S. Department of Energy* (Departamento Norteamericano de Energía), que busca mejorar la seguridad nacional mediante el resguardo adecuado de las armas nucleares, la producción y eficiencia energética y la priorización del programa medio ambiental.
- *The U.S. Energy Information Administration* (Administración de Información Energética Norteamericana), es una agencia estadística energética que suministra datos para establecer regulaciones adecuadas, y hacer prospecciones para los mercados eficientes energéticos y sostenibles.
- *The U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC)* (Comisión Reguladora Nuclear Norteamericana, que regula el uso de centrales nucleares y material radioactivo por parte de civiles. (p. 11).

A nivel asiático, de acuerdo con Magnus (2023), China lidera todo lo concerniente a cambio energético, y también al consumo de energía en el continente; *State Grid Corporation of China* (SGCC) y *China Southern Power Grid* (CSG) son las dos empresas líderes en el país en cuanto a la regulación de transmisión y distribución de energía, con gran proyección a nivel mundial para brindar apoyo a otros países colaborando en la innovación y desarrollo de tecnologías energéticas avanzadas.

De igual manera, a nivel global, existe el IEEE, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, que según Flores (2023), busca la definición de estándares para el intercambio tecnológico en distintas áreas, entre ellas la electricidad. También es válido mencionar la IEC, que, según FDM *Environment Makers*, es la Comisión Electrotécnica Internacional y es una organización sin fines de lucro fundada en 1918 que supervisa y administra el desarrollo de estándares industriales voluntarios en los Estados Unidos”, de manera que establece estándares y certificaciones que regulan distintas áreas, como la electricidad, y que pueden ser asumidos a nivel internacional; igualmente CIGRE es una entidad vinculada al desarrollo eléctrico y a la transición energética; de acuerdo con CIGRE (s.f), es un entorno humano global que trabaja de manera colaborativa en la creación, desarrollo e intercambio de conocimiento en sistemas eléctricos. De allí que CIGRE esté relacionada con adelantos en el suministro de energía como las microrredes, que permiten alcanzar la energía sostenible y un mayor acceso a esta por parte de la población.

A manera de resumen, el gobierno de España menciona algunas organizaciones vinculadas a la regulación internacional de la energía eléctrica a nivel mundial, denominándolas Organismos internacionales supra europeos:

- *International Energy Agency* . Agencia Internacional de Energía - París
- Naciones Unidas . Comisión Económica para Europa
- *Organization for Economic Co-operation and Development* (OECD). Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)
- *REPP-CREST - Renewable Energy Policy Project & CREST* . Instituto Internacional estadounidense para la conservación de la energía.
- *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) . Convención sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas

- *US Environmental Protection Agency* . Agencia Norte Americana sobre protección medioambiental.
- *World Energy Efficiency Association* . Organización sin ánimo de lucro dedicada a la promoción de la eficiencia energética en los países desarrollados y en vías de desarrollo.
- *World Watch Institute* . Organización sin ánimo de lucro dedicada a la investigación sobre las relaciones entre la economía y el medio ambiente.
- IRENA. Agencia Internacional de las Energías Renovables.

Específicamente en Colombia, entidades como la CREG, UPM, seccional ICONTEC, regulan mediante sus estándares y normas, el sector eléctrico nacional, buscando innovar en esta dimensión de la mano con el cuidado del planeta, y políticas que permitan que el servicio eléctrico llegue a toda la población. Claramente, hay baches que cubrir y mucho camino por recorrer, pero es necesario también, reconocer el trabajo que estas entidades realizan.

De acuerdo con la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG (s.f), esta tiene un papel preponderante en el marco regulatorio de la transición energética en Colombia, y trabajado arduamente en los últimos años para establecer una normativa que respalde este proceso de transición, tanto por mandato legal, como por la importancia misma del proceso para toda la humanidad. Según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), esta es una Unidad Administrativa Especial gubernamental, que se rige por la Ley 143 de 1994 y el Decreto número 1258 de junio 17 de 2013, y que depende del Ministerio de Minas y Energía, lo que la vincula directamente con la energía eléctrica, su producción, respuesta a la demanda y la innovación necesaria para adecuarla a las necesidades reales de Colombia, y a la búsqueda de una transición energética fluida, ágil y consciente de las necesidades humanas y medioambientales.

La seccional ICONTEC Colombia, como base de las normas NTC (normas técnicas colombianas), es un ente asesor del gobierno nacional, que promueve la innovación, la seguridad y la certificación en todos los ámbitos, incluida la energía eléctrica; según ICONTEC (s.f);

En lo relacionado con el Servicio de Normalización, ICONTEC es asesor del Gobierno Nacional de acuerdo con los Decretos 767 de 1964 y 2416 de 1971 y fue reconocido por el Gobierno Colombiano como Organismo Nacional de Normalización mediante el Decreto 1595 de 2015 y por otros decretos preliminares. En este campo, la misión del

ICONTEC es promover, desarrollar y guiar la aplicación de normas técnicas colombianas y demás documentos normativos para la obtención de una economía óptima de conjunto, el mejoramiento de la calidad y facilitar las relaciones cliente-proveedor a nivel empresarial, nacional o internacional.

#### **4.4 Situación de las microrredes en Colombia**

Gaviria y Gómez (2018), desarrollaron el trabajo de investigación Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas, proponiendo un diseño de microrred que contenga paneles solares, baterías, y aerogeneradores entre otros; el objetivo de este trabajo fue realizar la propuesta de una metodología que optimizara la capacidad de generación distribuida en microrredes eléctricas aisladas. La metodología se dividió en varias etapas usando el software Homer, que se utiliza para analizar sistemas híbridos de generación de energía; se pudo concluir que los proyectos energéticos deben considerar los aspectos socio culturales y ambientales de las regiones y aliarse con la tecnología para las simulaciones respectivas.

García (2021), llevó a cabo la investigación denominada Gestión de microrredes eléctricas basadas en fuentes renovables en Colombia, cuyo objetivo fue la revisión el estado del arte de la gestión de energía en microrredes con energía renovable a través de un análisis comparativo, para lo cual empleó una metodología basada en la revisión documental de diferentes metodologías de gestión de energía en microrredes. El estudio concluyó que las microrredes promueven la eficiencia de la gestión de energía eléctrica, reduciendo los costos de producción.

Canessa (2022) desarrollo la investigación Diseño de micro-red portuaria con integración de energías renovables y almacenamiento en puertos de Chile, con el objetivo de diseñar una MR portuaria en un puerto de Chile; empleando la simulación computacional como metodología con el optimizador Homer Pro. Los resultados evidencian la factibilidad económica de operar microrredes con energías renovables no convencionales en puertos de Chile.

Los tres antecedentes mencionados se vinculan directamente con la presente investigación, ya que exponen los beneficios sociales, económicos y de sostenibilidad que aporta el uso de las microrredes, sobre todo en zonas rurales pertenecientes a zonas no interconectadas al sistema de energía eléctrica central.

En cuanto a los proyectos de microrredes que están haciendo vida en Colombia, la bibliografía es poca; sin embargo, se puede mencionar el trabajo de Quijano et al (2019), donde menciona el caso de La Guajira, donde para el 2019 se estableció un plan piloto con algunas comunidades tratando de conocer las necesidades de la comunidad en cuanto a suministro eléctrico. El autor dice que este proceso tardó más de tres años, y se logró una gran receptividad y sentido de pertenencia por parte de la comunidad; el mantenimiento de este y la operación son aspectos que se encuentran en debate.

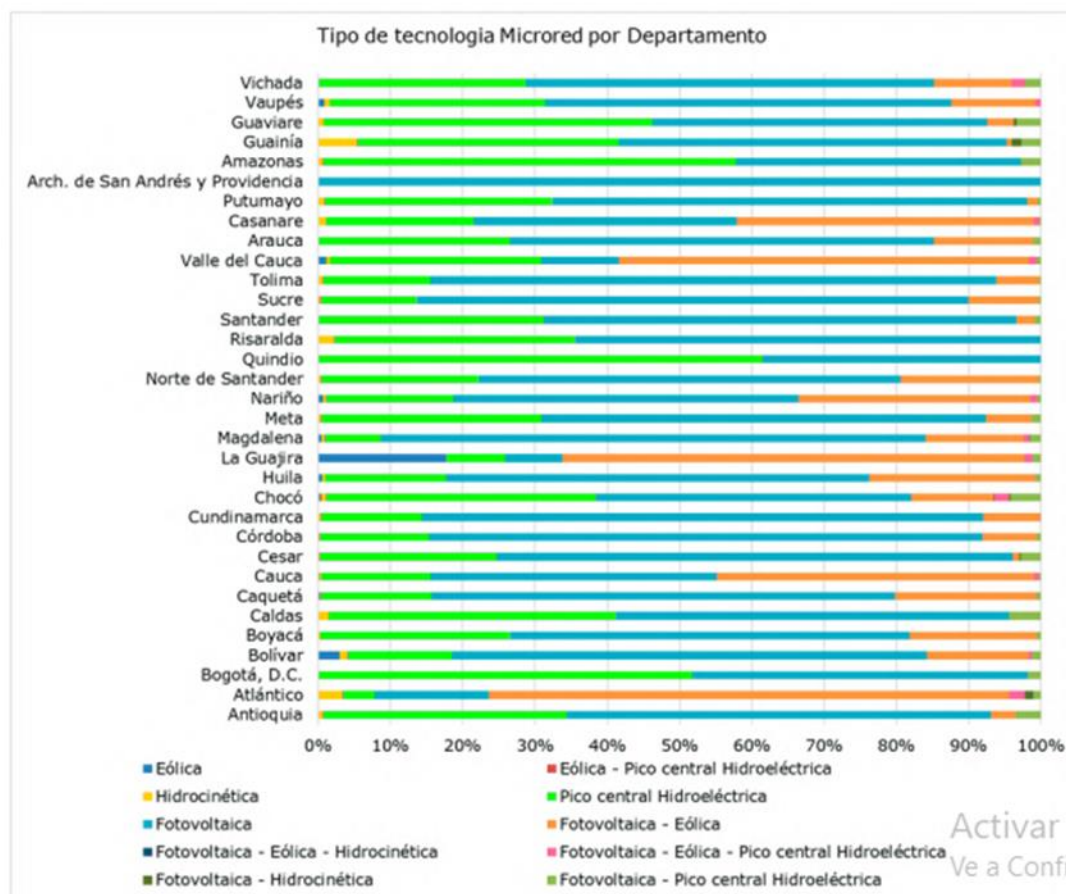
Escobar et al (2023), exponen en su trabajo Arquitectura predictiva de modelos en tiempo real para el control de voltaje secundario de microrredes, que la preocupación que se ha originado a nivel mundial por la demanda energética y el deterioro medio ambiental, han hecho que las microrredes cobren especial importancia como alternativa sostenible; en esta fuente se menciona que en Colombia hay 5 propuestas de microrredes implementadas, enmarcadas en el programa “Estrategias para la transformación del sector energético colombiano en el horizonte 2030 - Energética 2030a saber: una ubicada en Medellín en el operador nacional de la red eléctrica y del mercado de energía, ISA, y las otras cuatro en campus universitarios de todo el territorio nacional. En ese sentido, el Proyecto Energética 2030, que según Energética (2030) (s.f):

Es una alianza interinstitucional liderada por la Universidad Nacional, conformada por 11 organizaciones: 8 Universidades (UNAL, UPB, EAFIT, EIA, CECAR, UNICSUCRE, UNIGUAJIRA, UFPS,) y 3 empresas (ISA, XM, INTERNEXA), para ejecutar un programa de I+D+i, financiado por Colciencias en el marco de Colombia Científica, que responde al foco estratégico de Energía Sostenible y que busca definir estrategias de transformación del sector energético colombiano al año 2030. El Programa, está conformado por 11 proyectos en los que se involucran al menos 250 personas (Investigadores, Estudiantes, Profesionales) durante sus 5 años de ejecución (2018-2023). Todo lo anterior busca dar respuesta a las necesidades eléctricas del país, mediante la investigación, el concurso de voluntades y la inmersión de los futuros profesionales del área en la resolución de este problema a través de la tecnología y la innovación.

En cuanto a microrredes, esta misma fuente señala que Energética 2030, tiene un alcance fijado de diseño, implementación y monitoreo de cinco instalaciones piloto de microrredes inteligentes, y su respectivo control secundario a través de un esquema de gestión de energía



**Figura 7. Distribución de microrredes en el territorio nacional.**

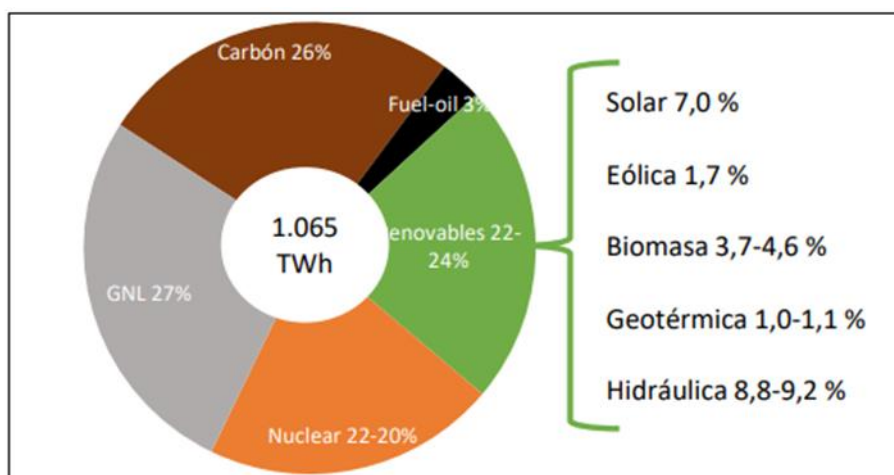


*Nota.* Tomado de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2024, p. 62). Plan de Expansión de la Cobertura de Energía Eléctrica 2024-2028.

La bibliografía consultada al respecto establece que los sistemas de sistemas de microrredes más importantes en Colombia se encuentran en el Chocó y la Guajira; sin embargo, los datos aportados al respecto no son tan numerosos ni detallistas. A nivel mundial, los países que cuentan con mayores proyectos de microrredes activos son, de acuerdo con Hermana y Menéndez (2020), son Estados Unidos y Japón (p.42).

Japón con una proyección a 2030 según se muestra en la Figura 8.

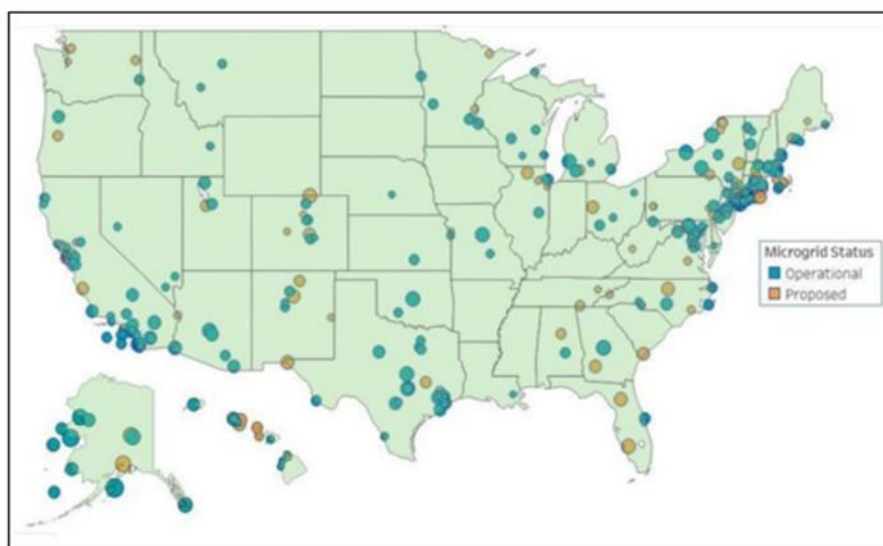
**Figura 8.** *Proyección de Japón para el 2030*



*Nota.* La grafica muestra a Japón con una proyección a 2030. Tomado de Menéndez (2020, p. 73). Casos de microrredes.

Por su parte, Estados Unidos Presenta la distribución de microrredes de la Figura 9.

**Figura 9.** *Distribución de microrredes de Estados Unidos.*



*Nota.* La grafica muestra la distribución de microrredes de Estados Unidos. Tomado de Hermana y Menéndez (2020, p. 73). Casos de microrredes.

En el territorio colombiano, algunas microrredes piloto se han establecido en campus universitarios; al respecto, Escobar et al (2023), señalan que, por ejemplo, en el campus de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), se ha desarrollado, desde el 2013:

Una estrategia de control predictivo de voltaje secundario (MPVC) de modelo de restricción variable en el tiempo para microrredes construidas en un entorno Python multiclase con bases de datos InfluxDB y SQLite que almacenan los datos del controlador y la microrred, y su implementación experimental con comunicación Modbus a dispositivos físicos en la microrred.

Pero también, estas experiencias enriquecedoras, como se ha mencionado a lo largo de este texto, se han hecho presentes en otros lugares de Colombia. Escobar et al (2023), exponen cinco microrredes más con sus características en la Tabla 7.

**Tabla 7.** *Cinco microrredes con sus características*

Sistema de microrred	PV (kWp)	BESS (kVA-kWh)	Biogás (kVA)	Contadores inteligentes	Ubicación
Campus EIA	210.0	6.8–18.5	–	9	Envigado, Antioquia
Campus Unisucre	26.0	8.6–6.3	–	10	Sincelejo, Sucre
UN CAMPUS	5.4	9.0–7.5	24.0	2	Medellin, Antioquia
Campus UPB	133.5	24.0–73.0	4.0	18	Medellin, Antioquia
Sede de la ISA	402.0	336.0–336.0	–	5	Medellin, Antioquia

*Nota.* Tomado de Escobar et al. 2023. Modele la arquitectura predictiva en tiempo real para el control de voltaje secundario de microrredes.

Confrontando el estatus de las microrredes en Colombia, con el posicionamiento que estas tienen en otros países, es necesario reconocer que falta mucho camino por andar, y ese camino debe iniciar con la consolidación de un marco jurídico que permita el manejo adecuado de las microrredes de la mano de la normativa internacional. Gaona et al (2015), citados por Garzón y Saavedra (2017) exponen que no hay regulación técnica concreta para el diseño y construcción de microrredes, y los autores citan como referente normativo para este tipo de implementaciones, el Código Eléctrico Colombiano, que es el que enmarca todo sistema eléctrico en el país. (p. 4), lo que da fundamento al presente estudio, que invoca la necesidad de un marco regulatorio para microrredes en Colombia.

Seguidamente, en la Tabla 8 se presentan los avances en algunos países en cuanto a microrredes, lo que permite tener una idea de ello no solo por países, sino a nivel de continentes, y a su vez, poder hacer una comparación entre dichos lugares y Colombia.

**Tabla 8.** *Avances en algunos países en cuanto a microrredes*

<b>País</b>	<b>Algunos Proyectos de microrredes</b>	<b>Normativa</b>
<b>Colombia</b>	<p>En la zona de la Guajira, con apoyo de la comunidad Wayuu se estableció un Proyecto desde 2019 con las empresas Senergysol y Suncolombia. Inversión para proyectos en Nemocón, Tocancipá y Susacundinamarca.</p> <p>Se han dado grandes pasos con la implementación de microrredes piloto ubicadas en UPB, ISA, Universidad EIA y Unisucre, la quinta estará ubicada en la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, y se encuentra en construcción.</p>	<p>El país ha dado pasos importantes en la regulación de energías alternativas en las zonas no interconectadas; la Ley 143 de 1994 donde se definen los autogeneradores que fueron ratificados en la Resolución CREG 084 DE 1996; La ley 142 de 1994, a resolución CREG 107 de 1998 y la ley 1215 de 2008, La ley 788 de 2002, Resolución 180919 de 2010 del Ministerio de Minas y Energía, Decreto 2469 de 2014, Resolución UPME 045 de 03 febrero de 2016 entre otros.</p> <p>Se busca promover la participación comunitaria en los proyectos de microrred desde la planificación hasta la operación.</p>
<b>Estados Unidos</b>	<p>Cerca de Columbus, Ohio se construyó CERTS testbed, que tiene convertidores estáticos que trabajan con gas natural. En la Universidad de Wisconsin se encuentra la UW MICROGRID, para el estudio de generadores que usan diésel. Parque MR <i>Mad River</i> (California) que abastece 6 instalaciones comerciales e industriales y 12 residenciales mediante dos grupos de generadores de combustión,</p>	<p>La normativa está muy ligada a las normas europeas.</p> <p>La legislación AB 32 (2006) que requirió que las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se redujeran a los niveles de 1990 para 2020 (logrado en 2016) y la SB 100 (2018) que ordena que la energía se componga de un 60% de fuentes renovables para 2030 y un 100% de energía limpia para 2045.</p> <p>Debido a la autonomía entre estados para promulgar leyes, California tiene leyes adicionales como la AB 1279</p>

	una microturbina y varias instalaciones fotovoltaicas.	que propende por la reducción de emisiones en un 85% y la regulación SB 1020 que exige energías renovables para las ventas minoristas de electricidad a futuro.
<b>Chile</b>	MR – Huatacondo, un sistema que es gestionado por la Universidad de Chile, y cuenta con 22 kW de generación solar, 3 kW de generación eólica, 150 kW por combustión de gas y tiene 96 baterías de plomo-ácido que totalizan 170 kWh	Emplea un sistema conocido como NET METERING para estimular a los usuarios a ser autogeneradores; ley 20571 establece que los autogeneradores hasta 100kw puedan vender energía no convencional. Los subsidios especiales para esquemas descentralizados de generación de energía y esquemas de financiamiento mixto reducen los costos iniciales para las áreas rurales.
<b>Japón</b>	Cuenta con el Proyecto <i>Aichi Microgrid Project-Central Japan airport city</i> , que es un sistema fotovoltaico combinado con celdas de combustible a base de baterías para generar 1150 KW. Kyoto eco-energy Project (Kyotango Project), es un sistema de microrred virtual que genera estrategias de comunicación y control con diversas tecnologías.	Ley de energía renovable (2012) que incluye el uso de la energía solar, eólica, geotérmica, y biomasa. Para el incentivo del uso de energías renovables el gobierno emplea el sistema de tarifa de alimentación y el sistema de prima de alimentación. Ley sobre métodos sofisticados de estructuras de suministros de energía. Ley de racionalización del uso de la energía.
<b>Unión Europea</b>	Proyecto RE/SOURCED, ubicado en Zwevegem-Bélgica. El proyecto SCCALE 20-30-50 que Cuenta con socios de 5 países: las ciudades miembros de Energy Cities, Lovaina (Bélgica) y Poreč (Croacia), las cooperativas energéticas Enercoop, Electra, Energie	Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima; Directiva (UE) 2018/2001; Directiva (UE) 2018/2002; En 2019, la Comisión Europea aprueba el 11 de diciembre el Pacto Verde o Green Deal <sup>7</sup> en el que se establece como estrategia crear una

---

<p>Samen, ZEZ y Ecopower y la Universidad Técnica de Delft. Proyecto <i>WiseGRID</i>, pretende fortalecer la capacitación en esta área y está presente en Italia, Bélgica, España y Grecia.</p>	<p>hoja de ruta en la que se apueste por el uso de fuentes de energías renovables; directrices 2001/77/EC, 2003/30/EC y 2006/32/EC entre otros.</p>
---	---

---

*Nota.* Elaboración propia

La Tabla 8 presenta una comparación entre algunos países, mostrando lo que han logrado a través de proyectos en desarrollo o ya consolidados, y la normativa que rige la utilización de energías renovables mediante microrredes. La legislación continúa adaptándose y desarrollándose a nivel global, ello debido a los cambios vertiginosos que se suceden en el mundo, la dinámica de la población en la que deben considerarse migraciones internas y externas, el cambio climático entre otros.

Aunque puede notarse que Colombia tiene un marco regulatorio, también es evidente que la normativa en otros países da mejores resultados, quizás porque no se trata de la cantidad de leyes que se establezcan, sino de la vigilancia de las mismas en cuanto a aplicación y beneficios de las mismas, además de que la regulación más aceptada e implementada, es la de la Unión Europea, que además establece beneficios claros, transparentes e igualitarios para quienes implementen las microrredes, dando especial cabida a las propias comunidades en su gestión.

## 5. Metodología

### 5.1 Tipo de Proyecto

Este proyecto es de tipo descriptivo, pues caracteriza los diferentes aspectos inherentes a las microrredes sobre todo en el ámbito normativo, lo que se convierte en un exhorto sobre la necesidad de que se establezcan reglas claras en Colombia sobre el uso y el manejo de este tipo de solución alternativa a los problemas de energía eléctrica en el país. Guevara et al (2020), definen la investigación descriptiva como un método eficaz en la recolección de información para una investigación, permitiendo conocer los aspectos o situaciones de los procesos, objetos o personas que se estudian, a través de una descripción minuciosa (p. 171).

Esta investigación también es no experimental, ya que solo se analizan los datos encontrados en fuentes documentales para reforzar la necesidad expuesta de normar las microrredes en Colombia y establecer conclusiones vinculadas a esa necesidad. Velázquez (s.f), define la investigación no experimental como aquella en la que el investigador no controla las variables que influyen en la realidad que analiza y se basa en lo que observa para llegar a las conclusiones correspondientes.

### 5.2 Método

El método utilizado es el método cualitativo, pues se exponen las cualidades del objeto de estudio, que son las microrredes, y las reglas que las norman a nivel nacional e internacional, en aras de llamar la atención sobre la necesidad de armonizar las políticas y regulaciones internacionales con las nacionales para promover una mayor difusión y uso de este tipo de alternativas eléctricas para paliar la necesidad del servicio eléctrico en las zonas no interconectadas del territorio nacional.

Según Hernández et al (2010), citados en Torres (2016), la metodología cualitativa es un proceso flexible con una carga subjetiva, consiste en la recolección de datos desde distintas perspectivas y no se comprueban hipótesis, sino que estas nacen durante el desarrollo del estudio.

La indagación de información que produce datos descriptivos para comprender la realidad que se estudia; de allí que en este proyecto de investigación se analizan fuentes documentales que permitan conocer la realidad normativa de las microrredes en Colombia, y contraponer esta

realidad con las regulaciones establecidas a nivel internacional, buscando contraponer las distintas normas para invocar un marco normativo más sólido para el país en este aspecto.

### **5.3. Población y muestra**

Para efectos del presente estudio, la población está conformada por todos los textos y materiales empleados, tanto para la citación de información relevante, como para nutrir el conocimiento de los investigadores; la muestra está compuesta por 20 documentos, considerados los más importantes por su aporte a la investigación.

### **5.4. Instrumentos de recolección de información**

#### ***5.4.1 Fuentes primarias***

Estas se refieren a todos los documentos revisados y analizados para el desarrollo del estudio, los cuales se encuentran establecidos en la bibliografía al final de este documento.

Para el registro de la información obtenida de las fuentes primarias, se empleará una matriz de registro bibliográfico donde se diligenciarán los aspectos más importantes de los 20 documentos que fungen como muestra del estudio.

#### ***5.4.2 Fuentes secundarias***

En este caso, no se manejaron fuentes secundarias, ya que los aportes provienen de las establecidas como fuentes primarias.

### **5.5 Descripción de la metodología**

La metodología empleada se describe a continuación a partir de los 4 objetivos específicos para ello, se presenta la Tabla 9.

,

**Tabla 9. Metodología a partir de los objetivos**

<b>Objetivo</b>	<b>Actividades</b>	<b>Fuentes y bases de datos</b>	<b>Procesamiento y análisis de la información</b>
Identificar las principales normas técnicas internacionales, que regulan el uso de recursos energéticos distribuidos en sistemas de microrredes, revisando su estructura, alcance y aplicabilidad en el contexto de países en desarrollo	Indagatoria documental para el conocimiento de la normativa internacional sobre microrredes  Revisión documental para la identificación de la normativa existente en Colombia sobre microrredes	Distintos motores de búsqueda como Scielo, repositorios, Google Académico entre otros	Se toman notas con la información más relevante y se va presentando a lo largo del desarrollo del proyecto. Al final se presenta la matriz de registro bibliográfico con los documentos analizados y su respectivo análisis.
Comparar los enfoques normativos internacionales y colombianos a través de un análisis documental, determinando los vacíos normativos que existen en la legislación colombiana respecto a las microrredes.	A partir de la revisión documental realizada en los dos objetivos previos, se establece una comparación entre los avances normativos internacionales y la reglamentación colombiana respecto a microrredes. En este punto es necesario dejar por sentado, que la bibliografía al respecto es reducida.	Distintos motores de búsqueda como Scielo, repositorios, Google Académico, algunos documentos oficiales colombianos entre otros	Se toman notas con la información más relevante a nivel nacional e internacional, y se va presentando a lo largo del desarrollo del proyecto. Finalmente, se presenta un cuadro comparativo donde se retoman los documentos mencionados a lo largo del trabajo y que exponen avances importantes en otros países y en Colombia; este cuadro presenta su respectivo análisis.

---

<p>Proponer recomendaciones teóricas orientadas a la adaptación de normativas al caso colombiano, que permitan una integración segura, clara y eficiente de recursos energéticos distribuidos en microrredes,</p>	<p>Teniendo como génesis la indagatoria documental realizada y su análisis, se establecen algunas recomendaciones para vincular de manera positiva las regulaciones nacionales e internacionales de manera que el uso de microrredes en el territorio nacional pueda darse de manera segura, rentable y con verdadero apego a la sostenibilidad.</p>	<p>Documentos utilizados en el desarrollo de la investigación y los análisis realizados por los autores consultados y los propios investigadores.</p>	<p>Se conjugan los documentos empleados en la revisión documental, prestando especial atención a las conclusiones que presentan, y los análisis de los investigadores, para llegar a conclusiones que permitan ofrecer sugerencias para concatenar de la forma más propicia, la armonización de las normas colombianas con las normas internacionales en el ámbito de las microrredes.</p>
---	--	---	--

---

*Nota.* Elaboración propia

## 6. Resultados

### 6.1 Introducción a la regulación normativa de microrredes

Tener la tecnología no es suficiente, una de las mayores dificultades para Colombia es la falta de una normativa clara que regule su uso, y no estamos hablando de falta de leyes en general, sino de reglas que específicamente hablen de microrredes, de cómo deben diseñarse, cómo deben conectarse, quién puede operarlas y bajo qué condiciones; por ello, se hace menester la discusión y el consenso sobre un marco normativo sobre este tema, anclado a las leyes internacionales y que se ajuste a la realidad nacional.

En otros países, este tipo de sistemas ya tienen respaldo legal y técnico, como, por ejemplo, la norma IEEE 1547 que establece cómo deben conectarse los recursos energéticos distribuidos a la red, garantizando seguridad y compatibilidad. Además de la IEC 61850, que regula la comunicación entre dispositivos eléctricos en subestaciones o microrredes. Estas normas no solo transmiten confianza técnica, sino también, permiten que los proyectos se diseñen con estándares reconocidos a nivel internacional, lo que facilita la inversión y reduce riesgos (IEEE, 2018; Hunt, 2016).

En ese sentido, las regulaciones permean el espectro internacional y nacional, alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), establecidos por las Naciones Unidas (ONU) en 2015 y entre los cuales cobra especial relevancia, en lo que atañe al tema de este estudio, el objetivo # 7: Energía asequible y no contaminante. Todo este panorama ha derivado en el surgimiento de lo que se conoce como comunidades energéticas.

Cima y Cabrera (2024), definen las comunidades energéticas (CE) como entidades jurídicas compuestas por personas o entidades públicas gestionan sus recursos de manera autónoma a través del cooperativismo para lograr eficiencia energética (p. 21); como se había dicho anteriormente, la intención de estos cambios hacia una energía sostenible no es solo salvar el planeta, sino promover la participación de la sociedad en este tipo de proyectos. Estas comunidades cuentan con el apoyo de la ONU, deben diseñar y gestionar sus propios proyectos y ubicarse en un territorio cercano a estos.

Sin embargo, toda esta idea debe estar limitada por un marco legal, el cual en algunos países ya tiene su impronta y en otros, como Colombia, el establecimiento de esta normativa es muy tímido aun cuando se reconoce la necesidad imperiosa de cambiar el tipo de energía que se

utiliza y llegar a territorios donde en pleno siglo XX, existen poblaciones que no cuentan con servicio eléctrico.

A nivel internacional se pueden mencionar normas; Fajardo (2021), menciona la Directiva (UE) 2018/2001 que fomenta el uso de energía proveniente de fuentes renovables y la Directiva (UE) 2019/944 que establece normas para el mercado de la electricidad de la Unión Europea (p. 35).

Normas *soft law* como el Documento *Best practices on Renewable Energy Self-consumption* (COM (2015) 339 final) de la Comisión Europea, de 15 de julio de 2015, o el Dictamen del Comité Económico y Social Europeo (CESE) sobre Cooperativas de productores-consumidores (prosumidores) de energía (2017/CO34/07. (Fajardo, 2021, p. 35)

Lo anterior refiriéndose a personas que producen y consumen energía. Las normas que existen en Colombia, como el RETIE o la Resolución CREG 030 de 2018, se enfocan más en generación distribuida o instalaciones eléctricas convencionales, por lo que no hay una reglamentación adaptada a lo que implica establecer una microrred en zonas rurales o de difícil acceso (Sharma & Singh, 2023). Esta realidad hace más difícil la implementación de las microrredes, ya que no existe un apoyo de diseño y de prospección por parte de los entes competentes.

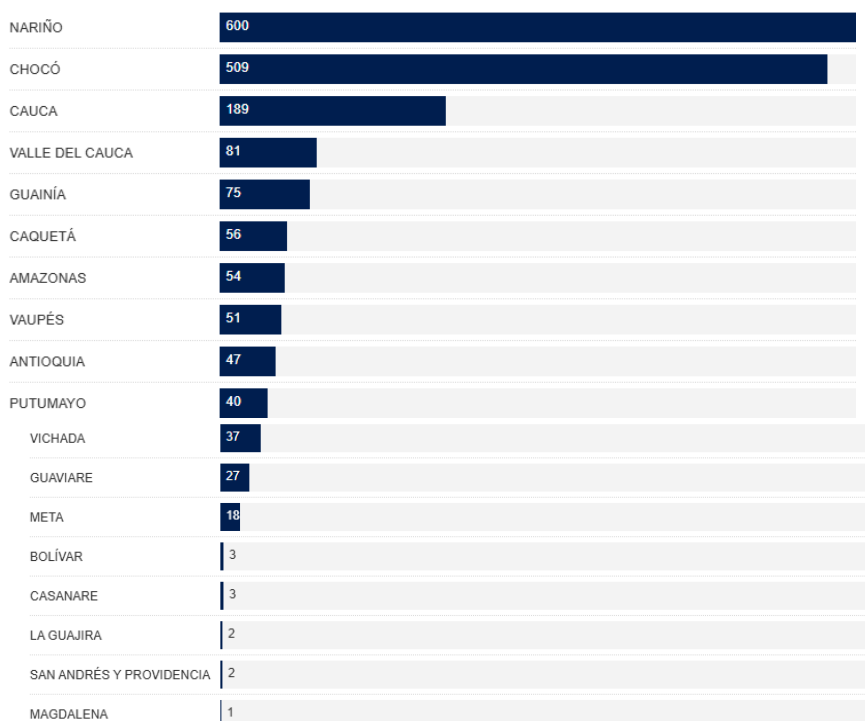
En Colombia, el Sistema Interconectado Nacional (SIN) comprende el 47% del territorio, el 53% restante pertenece a las Zonas No Interconectadas (ZNI), en donde el servicio de energía eléctrica es limitado o inexistente. En general, las poblaciones o habitantes de las ZNI tienen acceso a la energía gracias a plantas diésel y en una menor proporción a generadores basados en fuentes de energía renovable como solar fotovoltaico, energía eólica y pequeñas o micro centrales hidráulicas (IPSE 2022, citado en Garzón 2023, p. 38)

Para dar mayor visibilidad al problema de la brecha energética que se presenta en el país, pueden exponerse algunos datos relevantes; según Cortes y Rodríguez (2021), las zonas no interconectadas en Colombia cobijan el 66% del territorio implicando 17 departamentos, 5 capitales, 39 cabeceras municipales, 112 municipios y 1441 localidades que acumulan una población aproximada de 1.900.000 habitantes (p.9). Lo anterior es un dato demográfico que puede variar de acuerdo con movimientos de migración interna, auspiciados muchas veces por la falta de servicios básicos y oportunidades y/o por el conflicto armado que aqueja muchas de estas zonas remotas.

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) (s.f), señala que, entre las zonas no interconectadas del país se encuentran la isla de San Andrés, Santa Catalina y Providencia, Puerto Carreño, Vaupés, Capurganá entre otros. Ello permite reconocer zonas sin conexión eléctrica en diferentes departamentos colombianos, lo que evidencia la necesidad de buscar y aplicar políticas que, de una vez por todas, permitan que los habitantes de estas regiones accedan al servicio de energía eléctrica como parte de su derecho al buen vivir; es allí donde seguir hablando de microrredes e instar a su implementación cobra especial valor.

En ese orden de ideas, Vivas (2025), expone la cantidad de zonas no interconectadas (ZNI) por departamento, lo que muestra una visión holística de un país con gran parte de su territorio a oscuras, cuya población tiene una menor calidad de vida del resto de la población, convirtiéndose esto en un exhorto a la acción gubernamental, comunitaria, y del sector público y privado para superar el déficit de energía eléctrica y alcanzar la sostenibilidad. A continuación, lo mencionado en la Figura 10.

**Figura 10.** zonas no interconectadas (ZNI)



*Nota* Tomado de Vivas (2025). La Vida a Oscuras.

La demanda de energía en estas zonas también es cambiante, dependiendo también de factores de movilización humana y del poder adquisitivo que permite la compra de electrodomésticos, así como del desarrollo comercial en las zonas; Ser Colombia (2021) dice al respecto que “La demanda de energía eléctrica en las zonas no interconectadas (ZNI) ha registrado un ascenso paulatino desde el inicio de 2021, teniendo en cuenta que en las localidades donde se tienen sistemas de telemetría, se consumieron 32.150 MWh tan solo en el mes de junio, lo que se traduce en un incremento de la demanda de 25,98% respecto a los primeros meses de pandemia”; lo anterior permite una prospección de incremento constante que puede atribuirse a diversos factores.

Inter Eléctricas (2023) dice que 9,6 millones de personas en Colombia no tienen acceso a energía eléctrica y a gas, siendo las zonas con mayor pobreza energética Magdalena, Cauca, La Guajira, Bolívar, Córdoba entre otros. La brecha del acceso a la energía eléctrica en Colombia deriva en pobreza energética, una terminología más para señalar las grandes diferencias sociales y económicas que existen entre la población colombiana, y que exige desde el punto de vista político, social y económico acciones contundentes para reducirla toda costa. Las microrredes deben regularse e implementarse de manera tan común como la red eléctrica tradicional.

Estos datos revelan la irrestricta necesidad de proveer de energía eléctrica a toda la población colombiana, y es preciso, hacerlo de forma sostenible. El problema es que Colombia no ha incorporado de forma clara el marco regulatorio para las microrredes, lo que genera una brecha; por un lado, hay iniciativas que quieren avanzar, y por el otro, no hay un marco normativo que las respalde. Zabala (2023) afirma que uno de los principales frenos para las microrredes en países como el nuestro es justamente esa desconexión entre los marcos internacionales y la realidad normativa local. Esto no solo retrasa proyectos, también genera costos adicionales, demoras en trámites, o incluso el abandono total de ideas que podrían cambiar vidas.

Respecto al uso de las microrredes Colombia ha establecido algunas leyes, que, si bien son importantes, deben ser fortalecidas y ancladas a la normativa internacional, así como cristalizadas en el territorio; Garzón (2023), menciona algunas leyes como Ley 1715 de 2014 que regula la producción de energías renovables, la Ley 2099 de 2021 por la que se norma la regulación energética, y la Resolución número 000283 de 2021 que modifica el programa de expansión de energía eléctrica (p. 23).

Por eso es importante esta revisión documental y el desarrollo de esta temática ya que conecta con una dimensión social y ambiental en la que las microrredes no solo lleven luz, sino que promuevan oportunidades en salud, educación y servicios básicos, en los que, la electricidad juega un rol importante. Además, se puede considerar la relevancia que poseen las microrredes a nivel ambiental, dónde son alimentadas por fuentes de energías renovables como la energía solar o la energía eólica, disminuyendo el uso de combustibles fósiles, relacionándose al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 7, que busca asegurar el acceso universal a energía asequible y no contaminante (ONU, 2023).

Ahora bien, para entender mejor por qué hace falta una regulación adaptada, hay que mirar también la teoría del desarrollo energético descentralizado. Esta perspectiva plantea que no todo debe girar alrededor de una gran red central, sino que cada territorio puede y debe producir su propia energía, de forma local, sostenible y justa. En esa línea, las microrredes representan una herramienta clave, dónde, García et al (2023) explican que una microrred debe ser capaz de operar sola si se desconecta de la red general, debe aprovechar los recursos locales y debe garantizar continuidad del servicio en momentos de crisis.

Sobre la importancia de la descentralización energética, y la configuración de un carácter local para esta, Ariza et al (2014) citado por Di Pietro (2022), expone que organizar actividades del quehacer humano alejadas de los combustibles fósiles o energía nuclear requiere de cambios estructurales (p. 809), lo que incluye la normativa, no solo la internacional, sino una normativa clara que contenga el ADN de cada país.

Aunque es bien conocida la necesidad de las microrredes en el territorio colombiano, como una manera de reducir la exclusión al servicio eléctrico de muchos territorios en el país, no se puede cristalizar esta solución debido a la fragilidad de la normativa, lo que incide en el conocimiento que la población tiene sobre el tema, y las bondades que este trae consigo. Farrel (2026), citado en Mesa (2017), señala que los mayores impedimentos en la implementación de microrredes estriban en los elevados costos de inversión y de reconversión tecnológica, las restricciones que impone cada país, y la falta de un marco regulatorio adecuado y sólido entre otros. (p. 2).

Para que esto funcione, el marco normativo tiene que ser claro. No se puede avanzar con leyes que no dicen nada sobre microrredes, o con normas pensadas para otro tipo de sistemas. Por eso,

analizar las experiencias internacionales y compararlas con la situación colombiana puede ayudar a construir propuestas que tengan sentido, que no vengan impuestas desde afuera, sino adaptadas a lo que somos y a lo que necesitamos. Como dice Millán (2024), la clave está en diseñar soluciones pensadas desde el territorio, y no simplemente copiar modelos que funcionaron en otros contextos.

## **6.2 Estado del arte de la implementación de microrredes en el mundo**

La investigación denominada “Aplicación de *Machine Learning* para la Eficiencia y Predicción Energética en Microrredes Colombianas”, realizada por Villa (2025), tuvo como objetivo analizar cómo los modelos de *Machine Learning* pueden optimizar la gestión y eficiencia de las microrredes en Colombia en las cuales se mejore la predicción de demanda, así como la distribución energética y el almacenamiento, empleando una metodología descriptiva, de diseño no experimental, y con un enfoque cualitativo exploratorio. Los resultados obtenidos permiten proponer un modelo teórico para mejorar el sistema energético colombiano; esto se vincula con el presente estudio ya que en esta investigación se resumen algunas sugerencias que pueden ser consideradas para fortalecer la normatividad nacional en cuanto a microrredes; al ser un estudio bastante reciente, se evidencia que el tema de microrredes está en el tapete y hace más ruido que en años anteriores en función del cambio climático y la irrestricta necesidad de cambiar los modos de generación de energía.

Merino (2023) llevó a cabo el estudio “Herramienta gráfica para la divulgación de microrredes” con el objetivo de elaborar de una herramienta gráfica para la divulgación del funcionamiento de las microrredes aisladas y conectadas a la red; la metodología empleada se estructuró en dos fases: la primera constituida por el diseño de la red, y la segunda, por la implementación de esta. Los resultados permitieron concluir que, mediante el uso de la tecnología, en este caso un software específico, se puede diseñar una microrred y simular su comportamiento para tener una idea más clara de sus beneficios en un contexto determinado; las microrredes pueden ser diseñadas, analizadas, prospectadas y corregidas mediante el uso de la tecnología, aun cuando ellas mismas son un avance tecnológico necesario para solventar el problema de la producción de energía y contener, en la medida de lo posible, el deterioro ambiental.

La investigación titulada “Estudio de viabilidad de la instalación de una microrred de energía de pequeña escala para una población rural en La Guajira” realizada por Llanos (2020), tuvo como objetivo el dimensionamiento y diseño técnico económico de una microrred, con uso de fuentes de energía no convencionales, para una vereda en condiciones meteorológicas difíciles localizada en el departamento de La Guajira; para ello, se implementó una metodología para comunidades aisladas, basadas en la planeación, diseño y selección de topología. El trabajo investigativo concluye que, si se utilizan los componentes adecuados y se toma en cuenta la demanda, se pueden utilizar energías limpias para producir energías, lo que también incide positivamente en la economía local y nacional; esta investigación es una propuesta alcanzable en términos de proveer electricidad a través de microrredes, que puede ser implementada en otros lugares del territorio, adaptándolo a la realidad de la zona.

La bibliografía sobre el tema no es tan abundante como debería, considerando lo novedoso e importante del tema de microrredes, y en cuanto a la regulación tanto internacional como nacional, es aún mucho más reducida y se circunscribe a fragmentos establecidos dentro de las investigaciones; además, como se ha dicho en el presente texto, la normatividad en cuanto a microrredes está en desarrollo, es un construir y deconstruir de acuerdo a los cambios ambientales, políticos, sociales y económicos a nivel mundial; aunque la Unión Europea (UE) es un referente en este campo, Behrendt (2023), dice que en la UE no hay una definición ni una regulación clara sobre el tema; lo anterior promueve dos inconvenientes: la integración de las microrredes en el mercado eléctrico desagregado y el aislamiento de las microrredes.

Colombia también tiene tarea pendiente en esta área, sin embargo, se ha ido avanzando, y la idea es no parar, pero tampoco relajarse en cuanto al marco regulatorio que se requiere para darle plena cabida a las microrredes en el mercado energético nacional.

### **6.3 Normativa en los distintos países y continentes**

En este punto, se debe retomar la Tabla 6, donde se presentan de forma comparativa, algunos países que corresponden a distintos continentes, y cada país tiene como acompañantes algunos proyectos de microrredes que desarrollan en su territorio y las normas que han establecido; dicha tabla permite tener una idea de los avances en otros países y los distintos marcos regulatorios que

pueden servir como referentes para el país; igualmente se presenta información de Colombia, lo que establece una comparación que permite a su vez, un llamado a la reflexión y a la acción.

Sin embargo, Nair (2024), elaboró una tabla donde establece los mayores progresos alcanzados en los distintos continentes, mencionando los países más avanzados, incluyendo una proyección del uso de microrredes entre el 2025 y el 2037, lo que resulta interesante de observar, para hacer mayor hincapié en la necesidad que tiene Colombia de sumarse de manera clara, coherente, política, social y económicamente al mercado de microrredes como país emergente detallado en la Tabla 10.

**Tabla 10.** *Proyección del uso de microrredes entre el 2025 y el 2037*

<b>Año base</b>	2024
<b>Año de pronóstico</b>	2025-2037
<b>Tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC)</b>	20,2%
<b>Tamaño del mercado del año base (2024)</b>	8.800 millones de dólares
<b>Tamaño del mercado según pronóstico para el año 2037</b>	97,2 mil millones de dólares
<b>Alcance regional</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>América del Norte</b> (EE. UU. y Canadá)</li> <li>• <b>Asia Pacífico</b> (Japón, China, India, Indonesia, Corea del Sur, Malasia, Australia, Resto de Asia Pacífico)</li> <li>• <b>Europa</b> (Reino Unido, Alemania, Francia, Italia, España, Rusia, Países Nórdicos, Resto de Europa)</li> <li>• <b>América Latina</b> (México, Argentina, Brasil, Resto de América Latina)</li> <li>• <b>Oriente Medio y África</b> (Israel, CCG Norte de África, Sudáfrica, Resto de Oriente Medio y África)</li> </ul>

*Nota.* Tomado de Nair (2024). Tamaño y participación del mercado de microrredes remotas, por tipo de red (CA, CC, Híbrida); fuente de energía; dispositivo de almacenamiento: análisis de oferta y demanda global, previsiones de crecimiento, informe estadístico 2025-2037.

Vista la Tabla 10, y considerando la revisión documental realizada, es hora de mencionar el instrumento de registro empleado en la revisión bibliográfica; como base de la metodología de este trabajo de investigación, se implementa una matriz de registro bibliográfico, en la cual se registran algunos de los documentos relevantes para el desarrollo de este. En dicha matriz se presentan los aspectos más importantes de los documentos que se inscriben en ella, los cuales permiten obtener una idea del contexto nacional e internacional de las microrredes. A continuación la matriz de registro bibliográfico en la Tabla 11.

**Tabla 11. Matriz de registro bibliográfico**

No	Titulo	Autor (es).	Objetivo	Metodología	Conclusiones	Sobre la normativa de microrredes
1	Aspectos socioeconómicos en la etapa de operación y mantenimiento de una micro-red rural. Caso de estudio proyecto Esuscon, Huatacondo, Chile. Perspectivas de sustentabilidad para proyectos de energías renovables no convencionales en comunidades rurales.	Loreto Alejandra Álvarez Amado (2016).	Generar directrices para el funcionamiento de una microrred y su gestión comunitaria.	Es de tipo mixto, de carácter exploratorio; se obtuvo información de fuentes primarias y secundarias y se realizó un trabajo de campo.	En la operación y mantenimiento de una microrred la tarifa que se aplique es importante para el mantenimiento de los costos, pero debe considerarse el músculo financiero de la comunidad para que esto realmente sea un mecanismo sostenible. La participación comunitaria es el motor de este tipo de proyectos.	Este artículo no da información de normas
2	Estado del arte de microrredes energéticas en España	Irene Matilde Vázquez Trujillos (2020).	Realizar un estado del arte de las microrredes a nivel nacional, haciendo hincapié en sus diseños, dimensiones y características	Metodología cualitativa basada en una revisión documental.	Se concluye que las microrredes españolas utilizan en su mayoría, energía solar fotovoltaica y eólica; la potencia solar fotovoltaica instalada es de	Este artículo no da información de normas

					15 KW; la potencia eólica instalada media es de 7,5 KW.	
3	Análisis conceptual y de experiencias para el desarrollo de microrredes en comunidades energéticas en el contexto de los territorios indígenas	Luz Adriana Garzón Zabala (2023)	Mostrar los impactos de la transición energética en pequeñas comunidades que no están conectadas a la red eléctrica central	Mixta con trabajo de campo y simulaciones en computador.	Los resultados establecen que, a largo plazo, se puede migrar a sistemas 100% renovables, descentralizados y perdurables en el tiempo.	Este artículo no da información de normas
4	Caracterización técnica y económica de las microrredes en Colombia	Carlos Eugenio Obando Pérez (2021).	Caracterizar las microrredes en Colombia desde varios aspectos, incluyendo el técnico, el económico, el de legislación y el de regulación.	Cualitativa basada en revisión documental	Se concluyó que, debido a la diversidad geográfica de Colombia, las microrredes tienen gran expectativa de implementación; en cuanto a la regulación, hay avances significativos, pero falta una implementación clara de estas normas que hablen de beneficios tributarios y cobijen distintos generadores con fuentes no	En cuanto a este tema, la legislación en el país es débil e insuficiente, lo que no estimula la inversión, producto también, de los pocos incentivos que se ofrecen a los operadores y generadores de energías alternativas a través de microrredes

					convencionales	
5	Estado del Arte de las Micro redes Inteligentes y su Perspectiva en Ecuador	Carlos Avilés (s.f).	Analizar las últimas tecnologías de microrredes inteligentes (IMG) y sus aplicaciones en Ecuador	Se apoya en la revisión documental, programas piloto destacados y una discusión de las políticas públicas que contribuyeron a su adopción.	Los resultados arrojan avances importantes en Ecuador en materia de microrredes, pero faltan políticas públicas sólidas, inversión en investigación y cooperación internacional para consolidar este tipo de soluciones sostenibles en el país.	Los gobiernos deberían priorizar el desarrollo de estándares técnicos y legales que faciliten la integración de las microrredes y fomenten la inversión privada y la participación pública.
6	Gestión de microrredes eléctricas basadas en fuentes renovables en Colombia	Yimy Edison Garcia Vera(20 21)	Revisar el estado del arte de la gestión de energía en microrredes con energía renovable.	La metodología se sustenta en una revisión documental permitiendo un análisis comparativo de los métodos que emplean las microrredes con energías renovables.	Los resultados del estudio suministran información proporcionan para explorar la optimización de las microrredes empleando tecnologías distintas como las pilas de combustible y la biomasa. Sin embargo, es necesaria una participación más activa del gobierno colombiano para el desarrollo de	Este artículo no da información de normas

					las microrredes híbridas aisladas en áreas remotas	
7	Impactos de la transición energética en pequeñas comunidades fuera de red	Estefany Garcés; Carlos J. Franco (2024).	Mostrar los impactos de la transición energética en comunidades rurales colombianas y cómo, a largo plazo, la transición puede garantizar el acceso a una electricidad fiable, asequible, sostenible y moderna para todos.	Se empleó una metodología mixta, con trabajo de campo y simulaciones en computador.	El estudio permitió concluir que la transición a sistemas de generación descentralizados 100% renovables es posible, garantizando el suministro eléctrico a las comunidades que actualmente carecen de él.	Este artículo no da información de normas
8	Micro-redes aisladas: un desafío para los DSO	Gema Barrales Alcaín (2016).	Buscar la viabilidad económica de la instalación y el funcionamiento en isla de una micro-red eléctrica que suministra energía a una carga termoeléctrica usando adicionalmente la tecnología CHP ( <i>Combined Heat and Power</i> )	Empleó metodología mixta y esta se derivó de los factores de tiempo y lugar en los que se ha realizado el proyecto. Los resultados se obtuvieron mediante la recolección del mayor número de datos posible para que las conclusiones fuesen coherentes	No se logró el objetivo principal porque la inversión no era recuperable en función de que los costos eran mayores que los beneficios.	En España hay tres tipos de configuraciones fotovoltaicas legalizadas: la primera es la instalación fotovoltaica para el autoconsumo sin conexión a red y sin posibilidad de tenerla; la segunda es la venta directa de la

				con la realidad.		energía eléctrica generada por la instalación fotovoltaica de un particular a la red eléctrica; la tercera se refiere al autoconsumo.
9	Planificación de micro-redes para comunidades rurales con caracterización de incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica	Raúl Adolfo Morales Caro (2017).	Diseñar una metodología de planificación de micro-redes para comunidades rurales aisladas, mediante modelos de intervalos difusos que consideren la caracterización de incertidumbre asociada al recurso solar, recurso eólico y la estimación de demanda energética a largo plazo.	Se utilizó la modelación lineal y se identifican modelos de intervalos para corroborar que la velocidad del viento presenta una mayor incertidumbre que la radiación solar y la demanda eléctrica	Los escenarios generados utilizando modelos de intervalos para el recurso eólico, el recurso solar y la demanda eléctrica permiten caracterizar dichas variables a través de una banda que contiene los valores medidos con un cierto nivel de confianza. En función de los resultados obtenidos en la identificación de modelos de intervalos, se obtiene que el recurso eólico presenta una mayor incertidumbre	Este artículo no da información de normas

					que el recurso solar, mientras que la demanda eléctrica se encuentra correctamente identificada a través de sus modelos de intervalo	
10	Pobreza multidimensional y energética, seguridad y robustez de la red eléctrica colombiana: un análisis de su correlación	Andrea Franco Correa; Gabriel Villalobos Camargo. (2024).	Analizar la relación existente entre medidas de pobreza y la robustez de la red eléctrica colombiana, en el contexto de la seguridad	Para la metodología se construyó un tablero de indicadores que permitió triangular la metodología de los índices multidimensionales de pobreza con los modelos de redes	Se encontró una relación directa preocupante entre la pobreza multidimensional y la pobreza energética en Colombia.	Este artículo no da información de normas
11	Las comunidades energéticas como iniciativas emergentes que luchan contra el cambio climático	Carmen Esther Falcón-Pérez (2023)	Ofrecer opciones válidas para constituir comunidades energéticas, proponiendo aquellas formas jurídicas que se consideran idóneas, concretamente las asociaciones y las sociedades cooperativa	Se realiza una revisión documental para conocer la normativa de las energías renovables en la UE y en España.	Tanto la comunidad de energía renovable como la comunidad ciudadana de energía establecen sus normas en función de fomentar la participación ciudadana, elevar la protección del medio ambiente, y obtener un ahorro significativo en	El Parlamento Europeo establece leyes para el mercado interior eléctrico a favor de la protección del medio ambiente.

					la facturación eléctrica	
12	Recomendaciones para un marco regulatorio que promueva formas comunitarias y cooperativas de comercialización y generación de la energía	Fernanda Paz Marshall de la Maza (2024).	Promover la participación de cooperativas y otras formas comunitarias en la provisión de energía, proponiendo modificaciones al marco regulatorio de los servicios eléctricos en Chile	La metodología consistió en una revisión documental donde se identificaron los países con mayor participación en generación comunitaria.	Es necesario mejorar las políticas públicas en Chile que tiene que ver con la generación comunitaria de energía; sería interesante tomar como referentes países como España, Brasil, Inglaterra, Gales y Escocia.	Deben considerarse las leyes que adelantan países que han avanzado mucho en pobreza energética y generación comunitaria, como es el caso de Reino Unido, España, Brasil entre otros.
13	Análisis de microrredes en Colombia	Niver Joan Mesa Pérez (2017).	Realizar un análisis del estado actual de las microrredes (MRs) en Colombia.	Se realizó una búsqueda documental para la identificación de las tecnologías más utilizadas, barreras económicas, legislativas entre otras.	Muchas de las técnicas y tecnologías de las microrredes se encuentran en investigación o en desarrollo, lo que exige mayor dinamismo y difusión de la información en esta área.	El esquema jurídico colombiano debe reorganizar la legislación actual, apostando por una normativa clara para la implementación de las MRs en Colombia.
14	Evaluación Técnica en una Red de Distribución para el Diseño de Microrredes	Alexander Nahs (2023)	Evaluar el desempeño de una red de distribución estándar en condiciones estáticas de red normal y	La metodología utilizada tiene que ver con la distribución eléctrica para transformar	Las microrredes interconectadas son la solución ideal para incrementar la eficiencia y el	Este artículo no da información de normas

			de emergencia, estableciendo un criterio para definir potenciales microrredes.	las microrredes, y se dividió en tres partes: evaluación del estado operativo en estado de red normal, evaluación del estado operativo en estados de emergencia y definición y evaluación de operación en microrredes.	acceso del sistema eléctrico.	
15	Evaluación del desempeño de microrredes: una revisión	Presenta una revisión de estudios sobre el análisis de desempeño de una microrred	La metodología fue cualitativa, basada en una revisión documental.	Se lograron establecer 8 capacidades y 87 indicadores.		Este artículo no da información de normas
16	Dimensionamiento óptimo de microrredes aisladas considerando el costo total de inversión y los beneficios	Wilmer Roper Castaño (2022)	Proponer una metodología de optimización para el dimensionamiento de microrredes aisladas, considerando los beneficios tributarios y	La metodología incluyó simulaciones utilizando el lenguaje de programación Python considerando distintos escenarios.	Es posible configurar los datos de ingreso para luego ver en una pantalla los resultados y tomar las mejores decisiones sobre este tema.	Este artículo no da información de normas

	tributarios en Colombia		las zonas no interconectadas en Colombia, minimizando el costo de inversión y garantizando la confiabilidad del sistema.			
17	Herramienta gráfica para la divulgación de micro redes	Vicente Merino, David (2023)	Elaboración de una herramienta gráfica para la divulgación del funcionamiento de las microrredes aisladas y conectadas a la red	Se desarrollan tres etapas que son la recopilación de datos, el análisis de los componentes del sistema y la posterior simulación	Se logró definir la metodología para el diseño de una microrred mediante pasos concretos y se diseñó la microrred siguiendo dichos pasos.	Este artículo no da información de normas
18	Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas.	Fabián Andrés Gaviria Cataño; Juan Camilo Gómez Leal. (2018).	Proponer una metodología de optimización de la capacidad de generación distribuida en microrredes eléctricas aisladas.	La metodología se compone de varias fases: analizar el recurso energético renovable y no renovable disponible en las localidades, determinar los aspectos socioculturales y la demanda energética de los habitantes de la localidad,	La metodología que se desarrolló logró analizar el recurso energético renovable de cuatro comunidades pertenecientes a las zonas no interconectadas de Colombia.	

				e identificar la fuente de generación para la producción de la energía; luego, por medio de una herramienta de optimización se procesa la problemática propuesta en forma de ecuaciones.		
19	Análisis de Casos en Proyectos con Enfoque Social: Microrredes y la Comunidad	Maria Angelica Ruiz Villadiego (2019).	Evaluar el impacto de un proyecto de microrredes en una comunidad colombiana determinada.	Se basa en el marco del concepto de dinámica de sistemas.	Se lograron los objetivos propuestos mediante el análisis crítico y sistémico.	Este artículo no da información de normas
20	Simulación en tiempo real de una red eléctrica con recursos de energía distribuidos	Urbietta Acebal, Iñigo (2024)	Comprender el funcionamiento de las redes eléctricas con múltiples fuentes de energía renovable, analizando un sistema con DER para su integración masiva en la red eléctrica.	Se analiza un modelo de microrred utilizado para para conocer el comportamiento de los sistemas de generación distribuida, estudiando sus componentes y características, por lo que es una metodología experimental.	Se lograron establecer conocimientos sobre las redes eléctricas, y mediante simulaciones en distintos escenarios se concluyó que las microrredes son el futuro de la energía sostenible.	Este artículo no da información de normas

A continuación, se presenta un análisis de la matriz bibliográfica (ver Tabla 11), que permite establecer que las microrredes han venido ganando terreno desde hace ya varias décadas, por lo que la bibliografía consultada proviene de distintos países; algunas naciones tienen camino adelantado respecto a Colombia, sobre todo en el área normativa, que es el foco de este estudio. Puede verse también, que existe poca bibliografía que hable de la normatividad, tanto nacional como internacional; una comparación en cuanto a normas y leyes se da de manera intuitiva ya que no hay un documento que establezca este contraste.

Aun así, queda evidenciada la necesidad de regular el uso de las microrredes de manera clara para poder estimular la inversión en este tipo de energías alternativas, sobre todo en Colombia, ya que se presentan algunos vacíos que no incentivan a proponer el uso de microrredes, su regulación y la importancia de que las comunidades se involucren en el mantenimiento de estas. La regulación internacional está consolidada y ha permeado ya algunos países en el ámbito de las microrredes, un llamado expreso a países como el nuestro, a asumirlas y fortalecer la regulación interna a partir de ellas.

Para analizar los resultados obtenidos es preciso dejar claridad sobre el tema de la bibliografía: no existe bibliografía abundante sobre la normatividad que regula las microrredes, los textos revisados mencionan algunas normas e incentivos, pero no exponen claramente el marco regulatorio ni siquiera de los países más avanzados en el tema. En ese sentido, la matriz de registro bibliográfico que sustenta la revisión documental de esta investigación consta de veinte (20) documentos relacionados al tema y que aportan información relevante para la investigación, ya que, al no existir un número considerable de fuentes vinculadas al tema central de la investigación, carecería de un fuerte sentido investigativo registra en dicha matriz una cantidad de documentos que solo se relacionan al tema normativo de forma tangencial.

Este dato permite reconocer que, aun en países que utilizan las microrredes desde hace tiempo y han ido forjando un marco regulatorio, hay una carencia en investigación al respecto y en la multiplicación de esta información, de modo que la implementación de este tipo de energías alternativas pueda ser conocida, reconocida y ser objeto de apropiación por parte de la mayoría de la población. Colombia tiene así un gran compromiso, porque no es solo tomar como referentes aquellas leyes que han demostrado ser funcionales y positivas en el tema, sino

aprender de estas fallencias, y superarlas a medida que se afianza el uso de microrredes en el territorio nacional.

En páginas anteriores se presentó un cuadro con información relevante sobre algunos países y su avance en cuanto a microrredes, exponiendo algunas de las normativas que se han establecido, lo que permite notar como se han distribuido estos avances en los distintos continentes; en este cuadro se contraponen países como Colombia, Chile, Estados Unidos, Japón y la Unión Europea, permitiendo una mirada a diferentes continentes. En ese orden de ideas, la normatividad sobre producción y consumo de energías renovables a través de microrredes es un tema en desarrollo, que se va adecuando de acuerdo a los cambios y exigencias socioeconómicas y ambientales., pero que obviamente, va más adelantado en algunas naciones que en otras.

De acuerdo con los documentos analizados, se nota que no existe una regulación internacional como tal, sino que los países más desarrollados han establecido regulaciones que son adaptadas por otros países, contextualizándolas a su realidad, a su demanda energética y a las posibilidades financieras de impulsar proyectos de microrredes a través del sector público y privado.

A la luz de los objetivos propuestos, los resultados se pueden analizar de la siguiente manera:

- Identificar las principales normas técnicas internacionales, que regulan la integración de recursos energéticos distribuidos en sistemas de microrredes, revisando su estructura, alcance y aplicabilidad en el contexto de países en desarrollo: de acuerdo a la revisión documental realizada, la normativa internacional sigue en desarrollo, existen leyes establecidas por los países más avanzados en el tema de microrredes pero siguen adecuándose y monitoreándose para evaluar su funcionalidad e impacto positivo en la red eléctrica sostenible y en los distintos operadores; a lo largo del desarrollo de la investigación se mencionan los distintos países y las leyes internacionales más reconocidas, así como en el cuadro comparativo que se presentó anteriormente.

Entre las normas internacionales mencionadas en los documentos revisados, están la norma IEEE 1547 que establece cómo deben conectarse los recursos energéticos distribuidos a la red, garantizando seguridad y compatibilidad, la norma IEC 61850, que regula la comunicación entre dispositivos eléctricos en subestaciones o microrredes, la Directiva de la Unión Europea 2018/2001 que fomenta el uso de energía proveniente de fuentes renovables y la Directiva (UE)

2019/944, también de la Unión Europea, que establece normas para el mercado de la electricidad en ese territorio, entre otras.

- Comparar los enfoques normativos internacionales y colombianos a través de un análisis documental, determinando los vacíos normativos que existen en la legislación colombiana respecto a las microrredes: la revisión documental que sustenta la metodología de este trabajo de investigación se enfocó en la búsqueda de normativa colombiana e internacional sobre el uso de microrredes; como se dijo antes, la bibliografía sobre el particular no es abundante; en el desarrollo del trabajo se expone la normativa internacional y la normativa colombiana, argumentando sobre la contraposición de ambas legalidades, y los resultados establecen que en Colombia, el marco regulador sobre microrredes es muy débil, no tanto por la falta de normas, sino por la implementación desorganizada de las mismas, la poca pedagogía al respecto y escasa multiplicación de la información de manera clara y asertiva.

En este sentido, además de la argumentación y análisis presentado, enfocado en la comparación de las normas internacionales y nacionales, se presentó en el cuadro comparativo elaborado para tal fin, la normativa correspondiente a algunos países que son claves en su respectivo continente.

- Proponer recomendaciones teóricas orientadas a la adaptación de normativas al caso colombiano, que permitan una integración segura, clara y eficiente de recursos energéticos distribuidos en microrredes: para este objetivo, los resultados arrojan en primera instancia, la sugerencia de diagnosticar con atención las necesidades y oportunidades que tiene Colombia en cuanto al diseño e implementación de microrredes; de igual manera, debe reconocerse el valor de las comunidades como gestoras de este tipo de proyecto, que además pueda traducirse en un veeduría por parte de los implicados, lo que garantizaría mayor cuidado, conocimiento de las necesidades y bondades que puede traer un proyecto de este tipo para las zonas no interconectadas.

Mientras no se identifiquen los problemas y necesidades, contextualizados en cada territorio donde pueda instalarse este tipo de proyectos, no se podrán emular normas internacionales, porque estas deben adaptarse al territorio. Seguidamente, deben concretarse esfuerzos y voluntades políticas y sociales que deriven en la aprobación de

proyectos con sus respectivos recursos financieros para la ejecución de estos proyectos, con la transparencia requerida y la contraloría por parte de las comunidades.

Más allá de lo anterior, es necesaria la divulgación de la normativa establecida, el acompañamiento pedagógico y técnico a los interesados para que se incentive la participación de las comunidades y la empresa pública y privada, y es necesario decir con respeto y tristeza, que se debe garantizar la seguridad de todo el personal que se involucre en estos proyectos, incluyendo las infraestructuras y comunidades asociadas a estos, pues no es un secreto que gran parte de las zonas interconectadas, donde las condiciones exigen el uso de energías renovables, son azotadas por grupos armados al margen de la ley.

Algunas normas que pudieran ser implementadas en Colombia, tomando como referencia algunos países, serían la norma estadounidense SB 100 (2018) que ordena que la energía se componga de un 60% de fuentes renovables para 2030 y un 100% de energía limpia para 2045, ello acompañado de una vigilancia exhaustiva en los lugares claves para este logro, y una práctica pedagógica en este sentido en todos los niveles del sistema educativo colombiano; de este país también podría tomarse como referencia la regulación SB 1020 que exige energías renovables para las ventas minoristas de electricidad a futuro.

De Chile resulta interesante prestar atención y copiar, si es posible, los incentivos para el uso de energías renovables, que pudieran ser a nivel de impuestos y créditos, así como la ley 20571 que establece que los autogeneradores hasta 100 kW puedan vender energía no convencional y los subsidios especiales para esquemas descentralizados de generación de energía y esquemas de financiamiento mixto que reducen los costos iniciales para las áreas rurales.

La Ley de racionalización del uso de la energía de Japón puede ser traída al contexto colombiano como base de la consolidación de una cultura sostenible en la población; esta ley debe partir de la toma de conciencia, y esto solo se logra con hablar del tema abiertamente con toda la ciudadanía, no solo en empresas y universidades, sino con hacer del tema de la sostenibilidad algo cotidiano, que se vuelva un tema de conversación en tiendas de barrio, en espacios educativos y culturales para personas de todas las edades.

#### 6.4. Propuesta de recomendaciones teóricas para el caso colombiano (CREG)

La implementación de Recursos Energéticos Distribuidos (DER) y microrredes en Colombia exige normas claras y también criterios técnicos que marquen una hoja de ruta para quienes deseen incursionar en esta área tanto como proveedores de servicio como en el caso de los consumidores quienes, a su vez, pueden integrarse a la contraloría de este tipo de servicios y/o incursionar en la venta del excedente de energía.

Lo anterior exige establecer condiciones claras sobre los niveles de tensión que deben usarse, y el tipo de generador y la potencia, los métodos de conexión entre otros. Aunque ello está establecido en las distintas normas mencionadas previamente en este texto, resulta importante reiterarlo en medio de las sugerencias que se presentan.

De acuerdo con todo el contenido desarrollado, y a la revisión documental implementada, se sugieren las siguientes acciones a la CREG para que Colombia avance en una regulación específica, clara y contextualizada a la realidad nacional colombiana para las microrredes. Estas recomendaciones son teóricas y se presentan a continuación:

- Definición de una normativa clara, donde se puedan diferenciar las microrredes de la generación distribuida tradicional, presentando de forma pedagógica los tipos que pueden implementarse: aisladas, híbridas y comunitarias, y acompañar esta definición con el respectivo acompañamiento comunicacional y técnico. Ello quiere decir que se establezcan las reglas apropiadas para el uso de microrredes en el país, pero que se multiplique la información de manera clara para que toda la población pueda conocerla, incluyendo aquellos potenciales generadores de este tipo de energía y prestadores de este servicio, donde puedan tener claridad respecto a los deberes y derechos dentro del marco regulatorio.

Jiménez (2022) dice que “un tema importante es el regulatorio, ya que se debe ir aclarando y definiendo, de buena manera, cómo establecer modelos de negocios y esquemas regulatorios ad hoc para este tipo de soluciones”, ello en consonancia con la necesidad de dar a conocer lo que son las microrredes, sus bondades y como se manejaría el tema de la producción, regulación y participación de las comunidades.

El estímulo a la implementación de microrredes debe orientarse al uso de microrredes que puedan operar de modo aislado, ya que la prioridad es proveer de energía eléctrica a las zonas no interconectadas y este tipo de solución es ideal para dichos territorios; al

estar desconectada de la red eléctrica principal, este tipo de microrred debe tener un diagnóstico claro de la demanda de energía que tiene la zona a la cual va a proveer. Muñoz y González (2019), dicen al respecto que para que una microrred aislada cubra las necesidades del territorio al que desea suministrar energía, debe generar una cantidad igual o superior a la demanda de energía, utilizando almacenadores de esta para que las variaciones de generación no sean elevadas. (p. 12).

En cuanto a los rangos de tensión se sugiere utilizar la media tensión (MT), que oscila entre 1 kV y 35 kV, que suple necesidades energéticas a sistemas híbridos, microrredes comunitarias y plantas solares de mediano tamaño, ello con la finalidad de darle cabida a un crecimiento energético a corto y mediano plazo, es decir, que se puede ampliar el comercio de la zona y se puede manejar un crecimiento poblacional moderado.

Este rango, y otros, están establecidos en la norma IEEE 1547-2018, sección 4.1, norma que configura un referente técnico para la implementación de energías alternativas, lo que vincula estas sugerencias que se realizan, a un marco normativo pre existente pero que vale la pena resignificar en el presente texto, contextualizado a la realidad nacional; la Comisión Electrotécnica Internacional (s.f), menciona que “La serie de Especificaciones Técnicas IEC 62257, titulada "Recomendaciones para Sistemas Híbridos y de Energía Renovable a Pequeña Escala para la Electrificación Rural", describe las mejores prácticas internacionales para facilitar el acceso a la energía en países en desarrollo mediante diversas tecnologías”.

Para la conexión según la potencia del generador, se sugiere establecer el  $< 20$  kW, que prioriza una conexión simplificada, que exige parámetros básicos de protección y control de voltaje, ello de acuerdo con lo establecido en la norma IEEE 1547-2018, clause 4.10. Aunque se mencionó que lo ideal es manejar microrredes en isla pensando en las zonas no interconectadas, es pertinente aclarar que es necesario considerar de forma particular las microrredes para distintos escenarios, las comunitarias, las residenciales, las de zonas no interconectadas, ya que todas tienen características propias, por lo que, en medio del proceso, pudieran articularse.

Para el funcionamiento en modo isla debe tenerse en cuenta la necesidad de un control local de frecuencia o droop control, aspecto que no es solo técnico sino humano, ya que, en este punto, la comunidad juega un rol crucial en la operación y control de este tipo de

producción de energía, promoviendo el liderazgo comunitario y el sentido de pertenencia para con el territorio, así como la conversión en agentes transformadores de su comunidad.

Los generadores pueden ser sincrónicos o asincrónicos dependiendo del estudio realizado y de las capacidades estratégicas, técnicas y humanas de la zona a proveer de energía; los sincrónicos deben manejar reguladores de voltaje y una sincronización precisa, aunque tienen mayor riesgo de cortocircuitos, este puede ser reducido con protecciones especiales. Los asincrónicos controlan menos el voltaje y requieren campos de capacitores al usarlos en microrredes aisladas.

De igual manera, se sugiere prestar atención a los clúster o tendencias en la transición energética, ya que de ello depende el que un proyecto de energía limpia como las microrredes pueda articularse de la mejor manera; estos clúster presentan las principales tendencias tecnológicas en microrredes y como esto se conjuga con las fuentes de energía. Industria y Comercio Superintendencia (2023) mencionan los siguientes: Clúster 1: Sistemas de energía renovable, Clúster 2 Sistemas de Almacenamiento y Control, Clúster 3 Sistemas de Conversión y Distribución de Energía, Clúster 4 Tecnologías Computacionales e Informáticas. (p. 18).

Esta misma fuente establece la relación transversal entre clúster, exponiendo la simbiosis entre unos y otros, articulando de manera integral logrando la conversión de la energía mediante la tecnología. (p. 20). Lo anterior indica que, en esta propuesta, se sugiere analizar la vinculación de estos elementos para integrarlos en la implementación de microrredes, apoyándose en la tecnología para elevar su calidad en la producción de energía, utilizándolos de forma conjunta, por lo que se reitera la necesidad de políticas públicas que fomenten las microrredes, pero también, la preparación de profesionales y la propia comunidad en el mantenimiento preventivo y correctivo de las mismas.

Al hablar de capacidades estratégicas, humanas y técnicas cobra valor el análisis realizado al territorio, ya que se debe conocer con qué recursos técnicos cuenta la zona, si la población está dispuesta a inmiscuirse, si tiene el conocimiento para resolver complicaciones menores, monitorear el desempeño de la microrred entre otros, y si la condición geográfica permite que personal calificado pueda acceder de manera recurrente a prestar apoyo.

Al hablar de normativa clara, se habla de características particulares como las mencionadas anteriormente, sin embargo, estas sugerencias no son una receta, son pautas que pueden ser implementadas pero que exigen estudios y análisis de las zonas a intervenir y el consenso nacional, en cuanto a inclusión de la microrredes de forma consistente en el sistema energético del país, con una divulgación clara, apropiada y sostenida, donde se involucre a la comunidad y se promueva el empoderamiento de la ciudadanía sobre el tema.

- Adopción como referentes de normas internacionales ya probadas en su efectividad, como las normas IEEE 1547 (conexión de DERs) y la IEC 61850 (protocolos de comunicación), ajustándolas a los requerimientos del territorio nacional y sus posibles operadores. Igualmente mirar con atención las normas que implementan otros países en ese sentido, especialmente aquellas que incentivan el uso de las microrredes. De acuerdo con Idárraga y Romero (2023), el estándar IEEE 1547 regula la manera en que deben conectarse los recursos energéticos en sistemas eléctricos de potencia de forma que se puedan vigilar con la seguridad técnica necesaria los sistemas de distribución, además de establecer requisitos técnicos importantes y buenas prácticas para la operatividad de redes inteligentes; a esta norma se suman también, la IEEE 2800 y la IEEE 2030.
- Promoción de la participación comunitaria en la planificación, gestión y control de las microrredes, especialmente en las zonas no interconectadas del país. Esto tiene que ver con una comunicación amplia y clara sobre el tema, no solo en espacios empresariales, sino educativos y comunitarios. En este punto es importante resaltar el papel que deben jugar los laboratorios de microrredes, los que según Díaz y Cortés (2024), son esenciales para el desarrollo, apropiación e innovación tecnológica, permiten verificar en el sitio estrategias de control implementadas, promueven la formación profesional y especializada, generan el debate de políticas públicas y normativas entre otros (p.22). En ese sentido, es válido mencionar que, según Díaz y Cortés (2024) en Colombia existen laboratorios de microrredes en las universidades Del Valle, Distrital Francisco José de Caldas, Nacional de Colombia, sede Bogotá, y la Universidad Industrial de Santander (p.29).

Expandir dichos laboratorios universitarios puede ser una estrategia para fomentar el uso de energías limpias, a la vez que, desde las universidades colombianas, se puede promover la formación de profesionales que sean agentes de cambio en sus comunidades cercanas, aquellas que tengan necesidad de mejorar el servicio eléctrico, o promover proyectos de este tipo en zonas remotas.

- Promoción de los incentivos y sostenibilidad, estableciendo y garantizando beneficios tributarios y financieros, en aras de estimular la inversión en proyectos con energías renovables. Industria y Comercio Superintendencia (2023) señala que los incentivos gubernamentales son importantes para estimular la implementación de energías renovables c no convencionales, propiciando la conformación de comunidades energéticas; estos incentivos reducen el impacto de la inversión inicial en estas tecnologías. (p. 13).
- Dentro de estos incentivos debe manejarse la formación y capacitación en tendencias digitales, las cuales también se suman a la generación de energía eléctrica en microrredes; además, el acompañamiento técnico es importante en esta materia si se desea empoderar y propiciar sentido de pertenencia en las comunidades; Industria y Comercio Superintendencia (2023), expone que “La interconectividad sugiere una tendencia hacia la digitalización de los sistemas energéticos, con un enfoque fuerte en la toma de decisiones basada en datos y la gestión inteligente del sistema.”(p. 19).
- Implementación paulatina de esta agenda, iniciando con proyectos piloto en regiones puntuales, fortaleciendo los pilotos ya existentes, con acompañamiento pedagógico, comunicacional y técnico. En ese sentido, definir la normativa es el primer paso, pero no solo debe quedarse en el papel porque se convierte en letra muerta, debe ser dado a conocer e incluso, debatido en diferentes estamentos sociales, sobre todo en las zonas no interconectadas, donde la población debe sumarse a este tipo de proyectos de manera proactiva y propositiva.

#### **6.4.1 Artículo 1. (Propuesta)**

Estas recomendaciones teóricas son una propuesta de lo que puede ser una agenda de reconfiguración para la CREG en cuanto al diseño de una regulación vigorosa, clara y seductora

que permita la integración segura, sostenible y con elevada participación comunitaria en Colombia en el tema de la implementación de microrredes y el uso, producción y veeduría en la implementación de energías limpias.

**6.4.2 Artículo 2. (Adaptado de la Cláusula 6 de la norma IEEE 1547-2018 y de las Resoluciones CREG 097 de 2008, 161 y 179 de 2008, 056, 057 de 2009 y 072 de 2013)**

Considerando la importancia de la remuneración de los servicios que aportan las microrredes, es pertinente traer a colación que la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) (2020), expone que la CREG estableció las remuneraciones de actividades que impliquen la producción, distribución y comercialización de energía eléctrica en el país; dicha resolución fue modificada posteriormente por las resoluciones CREG 161 y 179 de 2008, 056, 057, 097 de 2009 y 072 de 2013. El esquema implementado por la CREG establece costos medios para todo el esquema de prestación del servicio eléctrico, considerando los costos de inversión y estímulos a los prestadores del servicio para elevar la generación y comercialización de energías limpias en el país; la remuneración está vinculada a la potencia instalada del sistema, con variantes de acuerdo con la tecnología que se utilice (p.10).

La propuesta de remuneración que se presenta está basada en la remuneración establecida por la CREG, ya que se considera que es funcional y que reconoce las implicaciones económicas de la producción de este tipo de energía, y, por tanto, respalda la inversión y el mantenimiento, preventivo y correctivo de la misma. En ese orden de ideas, esta propuesta de remuneración respalda la norma ya existente, añadiendo la importancia de una pedagogía y comunicación amplia y adecuada, además de hacer hincapié en la inclusión de las comunidades en la producción de energía sostenible para sus territorios; de esta forma, las microrredes pueden aportar al sistema eléctrico producción de energía limpia, control de voltaje en el nodo, deslastre de carga del sistema para control de frecuencia entre otros.

En ese sentido, la remuneración establecida por la CREG está contextualizada a la realidad colombiana, solo falta fortalecer los incentivos y la divulgación del tema en toda su amplitud. Sin embargo, una propuesta funcional y sencilla de implementar para la remuneración de los servicios que podrían proveer las microrredes, incluiría el análisis de costos de los equipos y tecnología que se instale, los costos humanos de mano de obra y supervisión de la instalación y

mantenimiento, considerando temas como la inflación y costos de los equipos en el mercado; además, los estímulos son importantes en este caso, ya que la generación de este tipo de energía y la inversión que conlleva, debe estar anclada a beneficios tributarios, proyectos de expansión y apoyo financiero y técnico para los generadores, para los operadores y para las comunidades que se involucren activamente en el tema. Así, la remuneración total ( $R_t$ ) podría expresarse de manera simplificada como:

$$R_t = (C_{\{eq\}} + C_{\{mo\}} + C_{\{man\}})(1 + \pi_t) + S_t$$

Donde:

$R_t$ : Remuneración total en el periodo t, correspondiente al valor por la prestación del servicio.

$C_{\{eq\}}$ : Costo anualizado de los equipos y la tecnología.

$C_{\{mo\}}$ : Costos de mano de obra y supervisión durante la puesta en marcha.

$C_{\{man\}}$ : Costos de mantenimiento y operación del sistema.

$\pi_t$ : Tasa de inflación o factor de actualización aplicable al periodo t, conforme a la metodología de la CREG.

$S_t$ : Incentivos o estímulos adicionales asociados a eficiencia, reducción de pérdidas o generación con fuentes renovables (FNCER).

De este modo, la ecuación articula los componentes básicos de una estructura tarifaria coherente con el principio de eficiencia económica previsto en la Ley 142 de 1994 y con los lineamientos de la Resolución CREG 101 072 de 2025, promoviendo la viabilidad técnica, social y financiera de las comunidades energéticas.

## 8. Referencias bibliográficas

- Arguello. F. (19 de julio 2023). *ANSI: Historia y relevancia*. Infoteknico  
<https://www.infoteknico.com/ansi-instituto/>
- ARIAE. (s.f). *Los organismos reguladores internacionales en el sector energético*.  
<https://www.bing.com/ck/a?!&&p=5d5a55b5e26e41898b2849e25636d44e8e7f52d3993ad7c0d51fdd1583353971JmltdHM9MTc2MTAwNDgwMA&ptn=3&ver=2&hsh=4&fclid=18872c6e-7a4c-6d0c-0d89-3ed07be36c10&psq=Los+organismos+reguladores+internacionales+en+el+sector+energ%C3%A9tico.&u=a1aHR0cHM6Ly93d3cuYXJpYWUub3JnL2ZpbGUvNzEwL2Rvd25sb2Fk>
- Barrales. G. (2016). *Micro-redes aisladas: un desafío para los DSO*. [Tesis de Grado, Universidad Pontificia] <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/14405>
- Becerra, A., Mora, O., Vivas, N., Castro, N., Rey, O., & Acosta, J. (2022). *Informe Sectorial de la Prestación del Servicio de Energía Eléctrica 2022*. [Archivo PDF]. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Superservicios.  
<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-sectorial-de-la-prestacion-del-servicio-de-energia-2022.pdf>
- Behrendt. J. (2023). Microrredes y legislación de la UE: Tres modelos de microrredes para resolver un problema regulatorio. *Revista Energy Policy*  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152300068X>
- Benítez. L. (s.f). Los Organismos Reguladores del Sector Eléctrico. *Holaluz*  
<https://blog.holaluz.com/el-sector-electrico-los-organismos-reguladores>
- Bravo. J, Solano. E (2022). Diseño de redes eléctricas en medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público para urbanizaciones. *Revista Polo del conocimiento*. 7(8), 1527-1547.  
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22510>
- Canessa. R. (2022). *Diseño de micro-red portuaria con integración de energías renovables y almacenamiento en puertos de Chile*. [Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/189178>
- Chere. B. (2021). Evaluación de modelos de micro red eléctrica y su gestión energética. Análisis documental. *Revista científica. Dominio de ciencias*, 7(6), 949–960.  
<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2374>
- CIGRE. (s.f). *Bienvenido al mundo de CIGRE*. <https://www.cigre.org/>
- Cima. C.; Cabrera. Y. (2024). El prometedor futuro de las comunidades energéticas. [Archivo PDF]

[https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.coit.es/sites/default/files/archivobit/pdf/bit\\_233\\_especial\\_smart\\_efficiency\\_prometedor\\_futuro\\_comunidades\\_energeticas\\_20\\_23.pdf](https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://www.coit.es/sites/default/files/archivobit/pdf/bit_233_especial_smart_efficiency_prometedor_futuro_comunidades_energeticas_20_23.pdf)

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (20 de octubre de 2023). *La regulación juega un papel fundamental como habilitadora de las distintas componentes de la transición energética*. <https://creg.gov.co/publicaciones/15672/la-regulacion-juega-un-papel-fundamental-como-habilitadora-de-las-distintas-componentes-de-la-transicion-energetica/>

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (2023). Zonas no Interconectadas. (2023). [https://www.bing.com/search?q=Comisi%C3%B3n+de+Regulaci%C3%B3n+de+Energ%C3%ADa+y+Gas+%E2%80%93+CREG.+\(2023\).+Zonas+no+Interconectadas.+\(2023\).+https%3A%2F%2Fcreg.gov.co%2Fpublicaciones%2F7821%2Fzonas-no-interconectadas%2F&cvid=1392940199184864a949a68409744bfa&gs\\_lcrp=EgRIZGdlKgYIABBFgDkyBggAEEUYOTIHCAEQ6wcYQNICDE3NjFqMGo5qAIIsAIB&FORM=ANAB01&PC=ASTS](https://www.bing.com/search?q=Comisi%C3%B3n+de+Regulaci%C3%B3n+de+Energ%C3%ADa+y+Gas+%E2%80%93+CREG.+(2023).+Zonas+no+Interconectadas.+(2023).+https%3A%2F%2Fcreg.gov.co%2Fpublicaciones%2F7821%2Fzonas-no-interconectadas%2F&cvid=1392940199184864a949a68409744bfa&gs_lcrp=EgRIZGdlKgYIABBFgDkyBggAEEUYOTIHCAEQ6wcYQNICDE3NjFqMGo5qAIIsAIB&FORM=ANAB01&PC=ASTS)

Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2020). *Remuneración de la prestación del servicio de energía eléctrica mediante soluciones individuales solares fotovoltaicas*. [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/pdf/doc\\_creg\\_20200714\\_2020.pdf](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/pdf/doc_creg_20200714_2020.pdf)

Cortés. A, Rodríguez. Y. (2021). *Estudio Preliminar De Necesidades Energéticas En Zonas No Interconectadas del Departamento Del Cauca – Estudio De Caso: Chacón Timbiquí*. [Tesis de Grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/51b5ca81-6826-44bf-8c10-2f0383d18bba/content>

CREG. (2012). Resolución 065 de 2012 [Ministerio de Minas y Energía]. Por la cual se ordena hacer público un proyecto de resolución de carácter general, que pretende establecer las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables en el Sistema Interconectado Nacional. 25 de junio de 2012. <https://gestornormativo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/c2dae01dcebf05105257a4c00719a8f.html>

CREG. (2025). *La CREG aprueba resolución para regular las Comunidades Energéticas y transformar el mercado eléctrico en Colombia*. GOV.CO. <https://www.minenergia.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias-index/la-creg-aprueba-resoluci%C3%B3n-para-regular-las-comunidades-energ%C3%A9ticas-y-transformar-el-mercado-el%C3%A9ctrico-en-colombia/>

- Deutz. (s.f). *Microrredes vs. Redes Eléctricas Tradicionales*.  
<https://www.deutz.com.au/resources/microgrids-vs-traditional-power-grids/#:~:text=Flexibility%3A,area%2C%20community%20or%20particular%20need.>
- Di Pietro. S. (2022). Procesos de la transición urbana a sistemas autónomos descentralizados de energía renovable. *Revista Estudios Demográficos y Urbanos*, 37 (7), pp. 807-837  
<https://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v37n3/2448-6515-educm-37-03-807.pdf>
- Di Terlizzi. S.; Gama. I.; Jaramillo. T. (2021). Transición energética en Colombia: No necesariamente una realidad que se sustenta en el cambio climático. *Verba Luris*, 46, 105-128. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/verbaiuris/article/view/8493>
- Enerdata. (2025). *Consumo nacional de electricidad. Energía y clima mundial - Anuario estadístico 2025*. <https://datos.enerdata.net/electricidad/datos-consumo-electricidad-hogar.html>
- Energética 2030. (s.f). ¿En qué consiste la alianza Energética 2030?  
<https://www.energetica2030.co/>
- Escobar. E.; Betancur. D.; Manrique. T.; Isaac. I. (2023). *Arquitectura predictiva de modelos en tiempo real para el control de voltaje secundario de microrredes*. [Trabajo de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana].  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030626192300692X>
- Fajardo. G. (2021). El autoconsumo de energía renovable, las comunidades energéticas y las cooperativas. *Revista noticias de la economía pública, social y cooperativa N°66*  
[http://ciriec.es/wp-content/uploads/2021/07/Revista\\_66\\_CIDEC\\_tema.pdf](http://ciriec.es/wp-content/uploads/2021/07/Revista_66_CIDEC_tema.pdf)
- Falcón. C. (2023). Las comunidades energéticas como iniciativas emergentes que luchan contra el cambio climático. *Actualidad Jurídica Ambiental*, n. 136 Sección “Artículos doctrinales”  
<https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/127454/1/Comunidades%20energeticas%20%281%29.pdf>
- FDM Environment Makers. (junio 26 de 2024). ¿Qué son las normas IEC?  
<https://www.dellamarca.it/es/que-los-estandares-iec/>
- Flores. M. (25 de septiembre 2023). ¿Qué es el IEEE y los estándares de Seguridad de la Información? Delete Thecnology. <https://www.deletetechnology.com/blog/qu%C3%A9-es-el-ieee-y-los-est%C3%A1ndares-de-seguridad-de-la-informaci%C3%B3n>
- Franco. A.; Villalobos. G. (2024). Pobreza multidimensional y energética, seguridad y robustez de la red eléctrica colombiana: un análisis de su correlación. *Revista científica. General José María Córdova*, 22(47), 621-644  
<https://revistacientificaesmic.com/index.php/esmic/article/view/1371/1276>

- Franco. L. (2023). Microrredes, alternativa para mejorar la prestación de servicios de salud en Puerto Carreño. *Periódico UNAL*. <https://periodico.unal.edu.co/articulos/microrredes-alternativa-para-mejorar-la-prestacion-de-servicios-de-salud-en-puerto-carreno>
- García. J, Rey. J, Osma. G. (2023). Evaluación del desempeño de microrredes: una revisión. *Revista TecnoLógicas*. 26(58). <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v26n58/2256-5337-teclo-26-58-e301.pdf>
- García. Y. (2021). *Gestión de microrredes eléctricas basadas en fuentes renovables en Colombia*. [Tesis de Grado, Universidad de Zaragoza] <https://zaguan.unizar.es/record/109135/files/TESIS-2021-318.pdf>
- Garzón. J.; Saavedra. A. (2017). Una metodología de diseño de micro redes para zonas no interconectadas de Colombia. *Revista TecnoLógicas*. 20(39). <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v20n39/v20n39a03.pdf>
- Garzón. L. (2023). *Análisis conceptual y de experiencias para el desarrollo de microrredes en comunidades energéticas en el contexto de los territorios indígenas*. [Tesis de Magíster, Universidad Externado de Colombia] <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/f0f5f493-4a56-47ed-b17c-016f460d95fc/content>
- Gaviria. F, Gómez. J. (2018). *Metodología de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas*. [Tesis de Grado, Universidad Autónoma de Occidente]. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/c10cf167-1111-486e-9ec3-60b7fc11f5a7/content>
- Gaviria. F.; Gómez. J. (2018). *Metodologías de optimización para microrredes eléctricas en zonas no interconectadas*. CRAI. <https://red.uao.edu.co/server/api/core/bitstreams/c10cf167-1111-486e-9ec3-60b7fc11f5a7/content>
- Gobierno de España. (s.f). *Organismos internacionales supra europeos*. <https://www.idae.es/organismos-internacionales-supraeuropeos>
- Granit, I. (Julio de 2023). *What makes Colombia's indigenous peoples adopt microgrids? Social acceptance and financial constraints in renewable energy diffusion*. *Energy Research & Social Media*, 101. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103132>
- Gualotuña. S; Pabón. W (2023). *Estrategia de control robusto descentralizado para una micro-red aislada con generación distribuida acoplada para mejorar la estabilidad de voltaje*. [Artículo académico, Universidad Politécnica Salesiana] <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rte/v20n2/2602-8492-rte-20-02-00058.pdf>

- Hermana. R.; Menéndez. J. (2020). Casos de microrredes. *ORKESTRA*  
[https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/200028\\_Casos\\_Microrredes.pdf?=&v](https://www.orkestra.deusto.es/images/investigacion/publicaciones/informes/cuadernos-orkestra/200028_Casos_Microrredes.pdf?=&v)
- Hossain. A, Roy. H, Hossain. J, Blaabjerg. F. (2019). Evolución de las microrredes con generaciones interconectadas con convertidores: desafíos y oportunidades. *Revista Internacional de Sistemas de Energía y Energía*. 119, pp. 160-189 Eléctrica  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0142061518332745?via%3Dihub>
- ICONTEC. (s.f). *Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)*. SICAL: Sistema Integral de Calidad para el Sector Eléctrico.  
<https://sical.gov.co/index.php/partners/instituto-colombiano-de-normas-tecnicas-y-certificacion-icontec/>
- IEA. (2023). *Colombia 2023: Energy Policy Review..* [Archivo PDF]. International Energy Agency. Obtenido de <https://iea.blob.core.windows.net/assets/2fa812fe-e660-42f3-99bc-bd75be3ca0b5/Colombia2023-EnergyPolicyReview.pdf>
- Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Las Zonas No Interconectadas – IPSE. (s.f). Estabilidad en el suministro de energía en las Zonas No Interconectadas, según Informe de Telemetría.  
<https://ipse.gov.co/blog/2024/09/24/estabilidad-en-el-suministro-de-energia-en-las-zonas-no-interconectadas-segun-informe-de-telemetry/>
- Inter Eléctricas. (2023). En Colombia, 9,6 millones de personas están sin acceso a energía ni a gas. <https://interelectricas.com.co/blog/colombia-en-colombia-96-millones-de-personas-estan-sin-acceso-a-energia-ni-a-gas-b8164.html>
- IRENA. (2020). *Off-grid renewable energy statistics 2020*. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi: Editorial GOGLA. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/Off-grid\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Dec/Off-grid_Renewable_Energy_Statistics_2020.pdf)
- Isaac. I. (2014). *Microrredes y transición energética* Idi Amin Isaac Millán Editor académico Bogotá D. C., 2024 *Hacia los ecosistemas energéticos escalables*. Energética 2030  
[https://investigacion.upb.edu.co/ws/portalfiles/portal/67444604/Microrredes\\_y\\_Transicion\\_Energetica\\_Version\\_Digital.pdf](https://investigacion.upb.edu.co/ws/portalfiles/portal/67444604/Microrredes_y_Transicion_Energetica_Version_Digital.pdf)
- Jiménez. L. (2019). *Evolución de las energías renovables en Colombia y su implicación para la agenda 2030*. [Tesis de Grado, Universidad Militar Nueva Granada].  
<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/88b48692-ca51-44bf-bc7c-a1aa3dec91ff/content>

- Jiménez. G. (2022). Las microrredes, una solución para cerrar las brechas de acceso a la electricidad. *Revista Contacto*. <https://revistacontacto.uniandes.edu.co/especial/las-microrredes-una-solucion-para-cerrar-las-brechas-de-acceso-a-la-electricidad/>
- Llanos. S. (2020). *Estudio de viabilidad de la instalación de una microrred de energía de pequeña escala para una población rural en la guajira*. [Tesis de Grado, Universidad de los Andes] <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/d55cf6ce-03b1-4c2a-a098-6deb4b662e6c/content>
- Magnus. (junio de 2023). *Introducción a la reforma del mercado eléctrico chino*. <https://magnuscmd.com/es/introduccion-a-la-reforma-del-mercado-electrico-chino/>
- Marshall. F. (2024). *Recomendaciones para un marco regulatorio que promueva formas comunitarias y cooperativas de comercialización y generación de la energía*. [Tesis de Grado, Universidad de Chile] <https://repositorio.uchile.cl/xmlui/bitstream/handle/2250/202596/Recomendaciones-para-un-marco-regulatorio-que-promueva-formas-comunitarias-y-cooperativas-de-comercializacion-y-generacion-de-la-energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Merino. V. (2023). Herramienta gráfica para la divulgación de micro redes. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/60358/TFG-I-2538.pdf;jsessionid=5CEF22737FB280B2466A3D83082AF692?sequence=1p>
- Mesa. N. (2017). *Análisis de microrredes en Colombia*. [informe de Grado, Instituto tecnológico metropolitano] <https://repositorio.itm.edu.co/server/api/core/bitstreams/64a028a3-8c6e-474a-8bac-7447e8c6a524/content>
- Morales. R. (2017). *Planificación de micro-redes para comunidades rurales con caracterización de incertidumbre de los recursos renovables y demanda eléctrica*. [Tesis de Grado, Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144288/Planificaci%c3%b3n-de-micro-redes-para-comunidades-rurales-con-caracterizaci%c3%b3n-de-incertidumbre-de-los-recursos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Nahs. A. (2023). *Evaluación Técnica en una Red de Distribución para el Diseño de Microrredes*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.] <https://rtyc.utn.edu.ar/index.php/ajea/article/view/1576/1434>
- Nair. V. (2024). Tamaño y participación del mercado de microrredes remotas, por tipo de red (CA, CC, Híbrida); fuente de energía; dispositivo de almacenamiento: análisis de oferta y demanda global, previsiones de crecimiento, informe estadístico 2025-2037. <https://www.researchnester.com/es/reports/remote-microgrid-market/6534>
- Obando. C. (2021). *Caracterización técnica y económica de las micro-redes en Colombia*. [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica de Pereira]

- <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ae900946-4406-4324-ab16-63fba7b0ebae/content>
- Ojeda. F. (2022). *Revisión de contenido teórico sobre microrredes y estudios previos acerca de su implementación como suministro de energía en Colombia (octubre de 2022)*. [Tesis de Grado, Universidad Santo Tomás]  
<https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/dc5ee6a4-0752-45c3-8781-41fd545c567c/content>
- Quijano. N.; Pedraza. A.; Velásquez. M.; Jiménez. G.; Cadena. A.; Becerra. J.; Ramírez. A. (2019). Microrredes aisladas en la guajira: diseño e implementación. *Revista de ingeniería*. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7472/7856>
- Ropero. W. (2022). *Dimensionamiento óptimo de microrredes aisladas considerando el costo total de inversión y los beneficios tributarios en Colombia*. [Tesis de Maestría, Universidad de Antioquia]  
<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/89978119-276c-451f-8c3d-b02d80d8978a>
- Ruiz. M. (2019). *Análisis de Casos en Proyectos con Enfoque Social: Microrredes y la Comunidad*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]  
<https://bffrepositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/4a98be88-4076-4624-a19d-5c2311dbc78e/content>
- Ser Colombia. (2021). La República- Demanda de energía eléctrica en zonas no interconectadas ha incrementado 25,9%. <https://ser-colombia.org/2021/noticias-del-sector/la-republica-demanda-de-energia-electrica-en-zonas-no-interconectadas-ha-incrementado-259/>
- Sharma, M., & Singh, A. (2023). *Superando las barreras para el desarrollo de microrredes: una revisión de políticas y regulaciones*. IEEE. Obtenido de <https://smartgrid.ieee.org/bulletins/may-2023/overcoming-barriers-to-microgrid-development-a-review-of-policies-and-regulations>
- Sistema de información Minero Energético. Plan Energético Nacional. [Archivo PDF]. <https://www.upme.gov.co/simec/planeacion-energetica/plan-energetico-nacional/>
- Torres. P. (2016). Acerca de los enfoques cuantitativo y cualitativo en la investigación educativa cubana actual. *Revista Atenas*, 2(34), pp. 1-15.  
<https://www.redalyc.org/journal/4780/478054643001/html/>
- Unidad de Planeación Minero-Energética. (2024). Plan de Expansión de la Cobertura de Energía Eléctrica. *SIMEC*. [https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Energia%20Electrica/PIEC/2024-2028/PIEC\\_2024-2028\\_comentarios.pdf](https://docs.upme.gov.co/SIMEC/Energia%20Electrica/PIEC/2024-2028/PIEC_2024-2028_comentarios.pdf)

- UPME. (2022). *Proyección Demanda Energía Eléctrica Gas Natural Combustibles Líquidos 2022-2036*. Unidad de planeación minero-, [Archivo PDF]. Energética [https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe\\_proyeccion\\_demanda\\_energeticos.pdf](https://www1.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/Informe_proyeccion_demanda_energeticos.pdf)
- UPME. (2025). *Plan Energético Nacional 2024-2054*. Unidad de planeación minero-energética, [Archivo PDF]. [https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN\\_2024\\_2054/PDF1\\_PEN\\_2024-2054\\_Tomo\\_I.pdf](https://docs.upme.gov.co/DemandayEficiencia/Documents/PEN_2024_2054/PDF1_PEN_2024-2054_Tomo_I.pdf)
- Urbieta. I. (2024). *Simulación en tiempo real de una red eléctrica con recursos de energía distribuidos*. [Tesis de Grado, Universidad del País Vasco]. <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/72776/TFG%20UrbietaI%C3%B1igo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Velázquez, A. (s. f.). *Investigación no experimental*. QuestionPro Blog. <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-no-experimental/>
- Vicente. D. (2023). *Herramienta gráfica para la divulgación de microrredes*. [Tesis de Grado, Universidad Valladolid] <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/60358/TFG-I-2538.pdf;jsessionid=3B4271151ECC84D6DC965938C21610E4?sequence=1>
- Villa. L. (2025). *Aplicación de Machine Learning para la Eficiencia y Predicción Energética en Microrredes colombianas*. [repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/fb022468-72e3-44a7-84e7-680e9fee3d8f/content](https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/fb022468-72e3-44a7-84e7-680e9fee3d8f/content)
- Vivas. J. (2025). *La vida a oscuras*. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/los-lugares-que-aun-viven-sin-energia-electrica-en-colombia-325892>